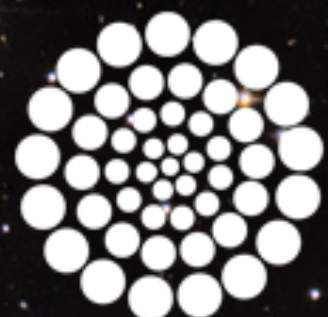


IV + V. La Vía Láctea, galaxias y galaxias activas

1. La Vía Láctea
2. Galaxias
3. Galaxias activas

Alberto Carramiñana

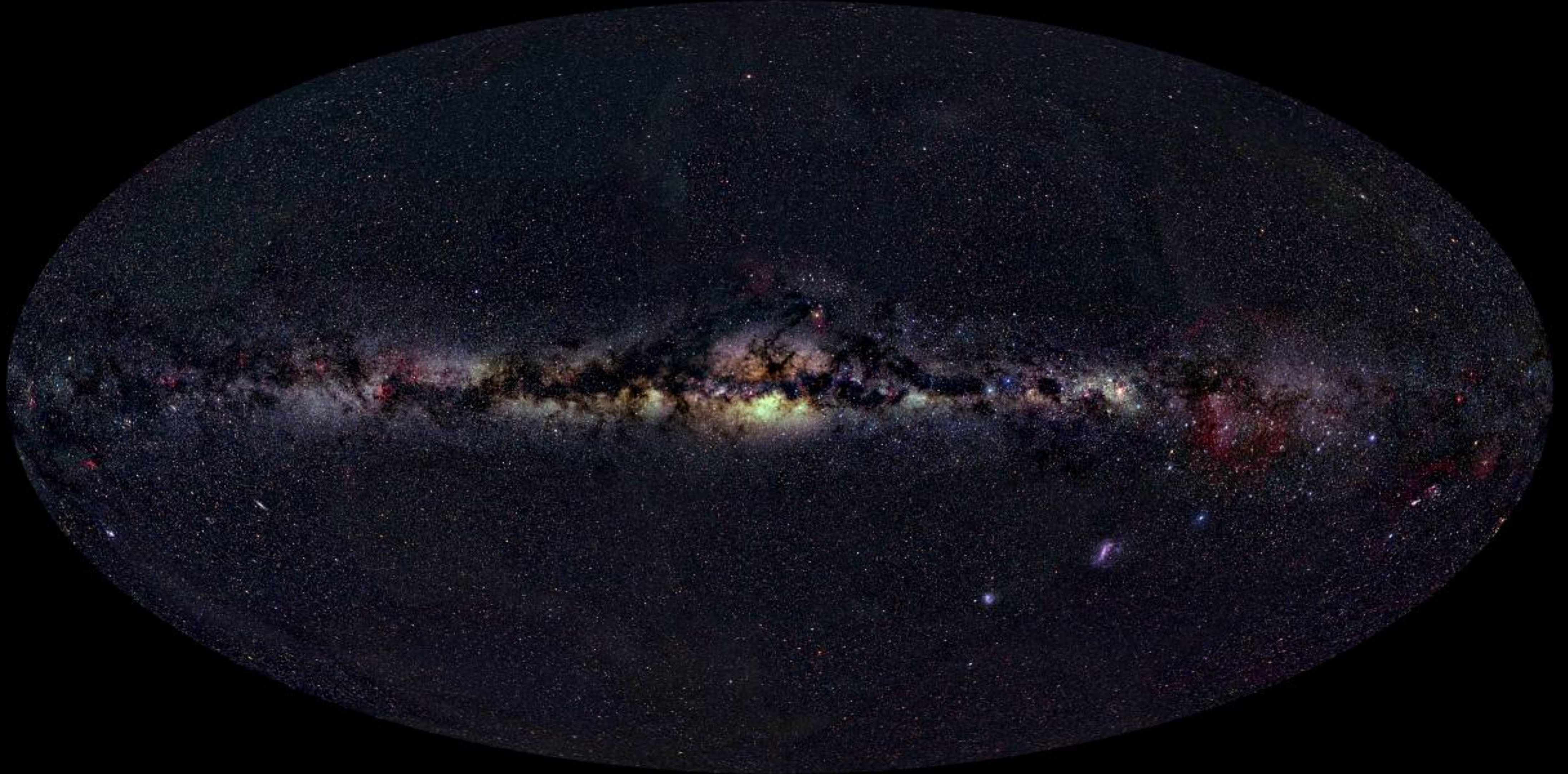
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Luis Enrique Erro 1, Tonantzintla, Puebla, México



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

División de Rayos Cósmicos SMF
25 de agosto de 2021

The Deep Sky



1. La Vía Láctea

1. La Vía Láctea

- Constituida por estrellas (alrededor de $10^{11} M_{\odot}$) y el medio interestelar, con evidencia de un halo esférico de materia oscura.
- Estructura: disco + barra + brazos espirales + Centro Galáctico.
- **Estrellas:** individuales; asociaciones de estrellas jóvenes; cúmulos abiertos; cúmulos globulares.
- **Medio interestelar:** gas y polvo (10% y 0.1% de la masa), rayos cósmicos y campo magnético ($\sim 3 \mu\text{Gauss}$).
 - **Polvo:** observado en absorción: extinción media 2 mag/kpc; inhomogénea (30 magnitudes en el Centro Galáctico). Detectado en el infrarrojo medio y lejano.
 - **Gas:** H atómico (líneas de Balmer o 21 cm); regiones HII; gas molecular (H_2/CO ; espectroscopía en radio); nebulosas planetarias; remanentes de supernova; gas coronal.

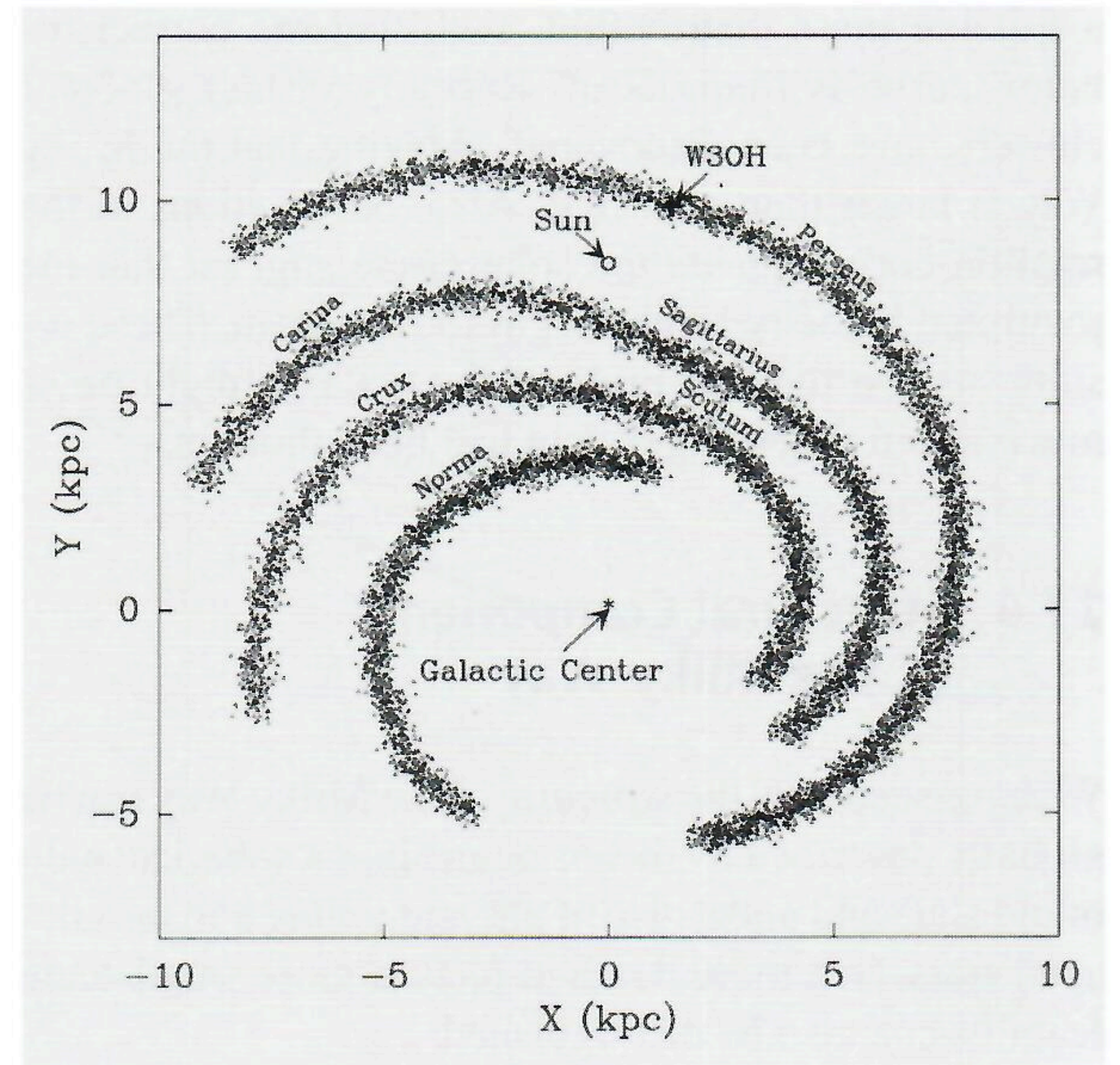
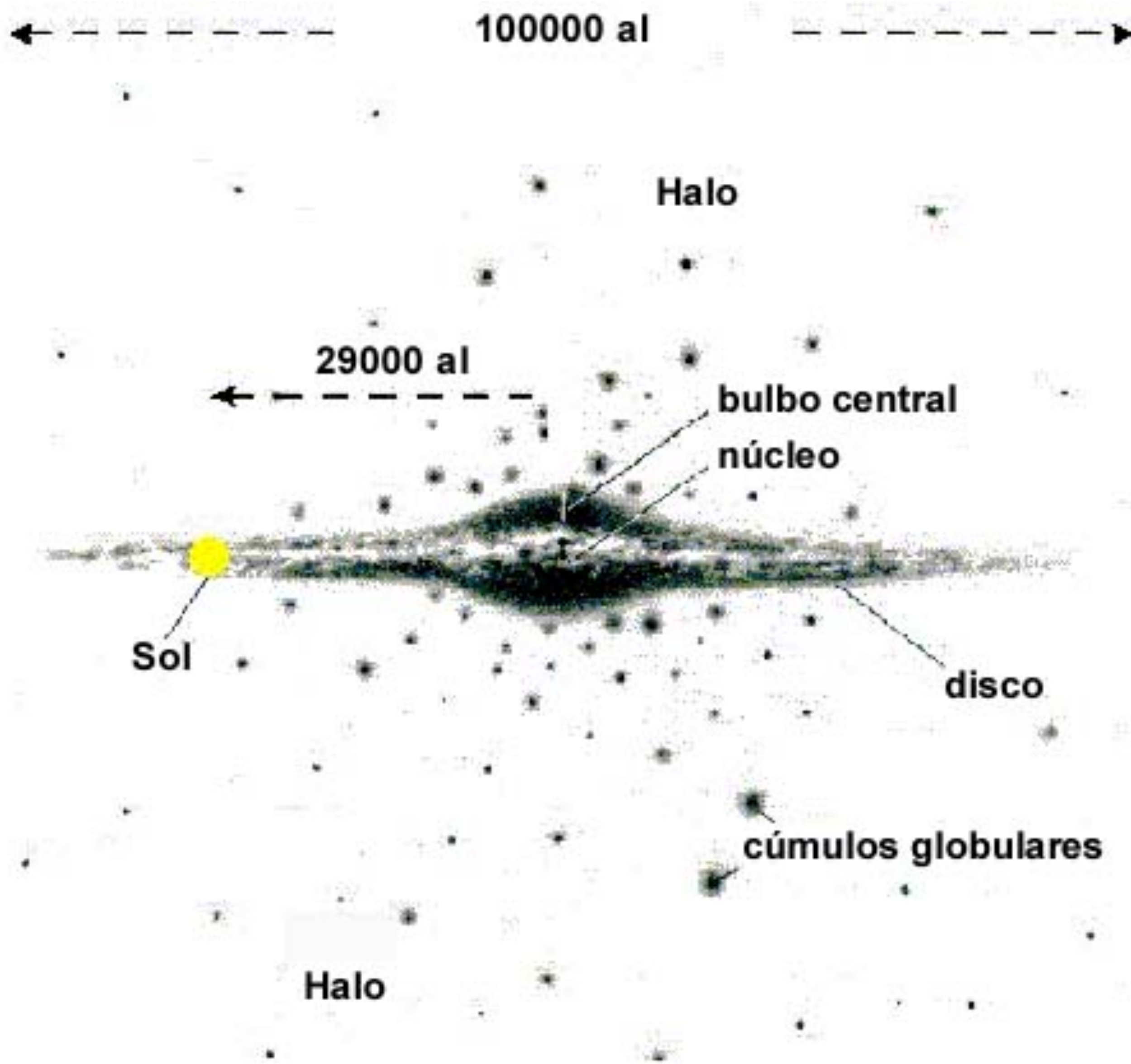
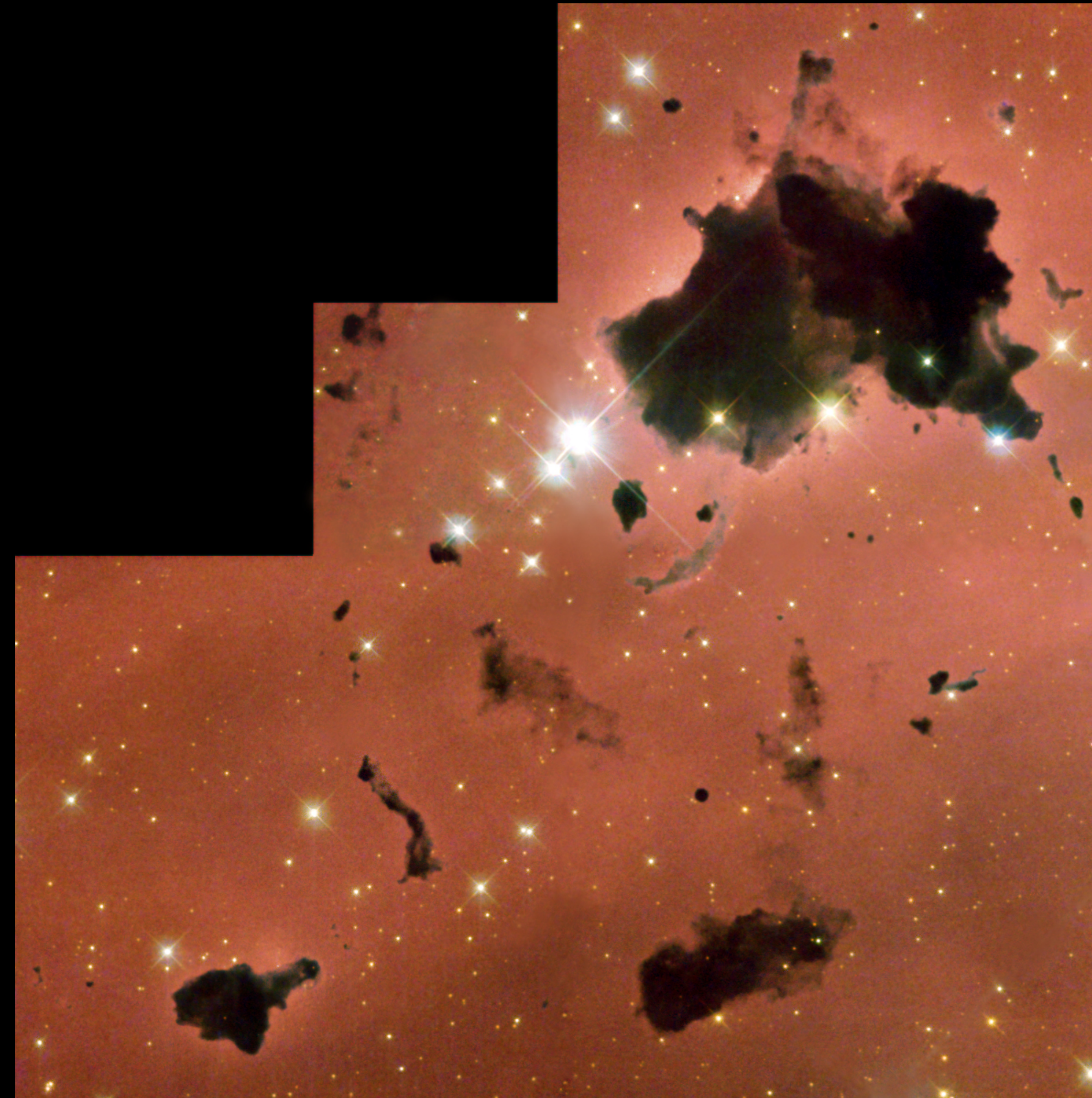


Fig. 17.22. General view of the spiral pattern of the Milky Way. Different tracers of spiral arms lead to somewhat different patterns, but they tend to agree that a four-armed pattern like the the one indicated here gives the best overall representation. The names of the arms are those most commonly used. See also Fig. 17.11. (Y.Xu et al. 2006, Science 311,54)





B33 The Horsehead Nebula Complex © 2013 John Chumack



Infrared



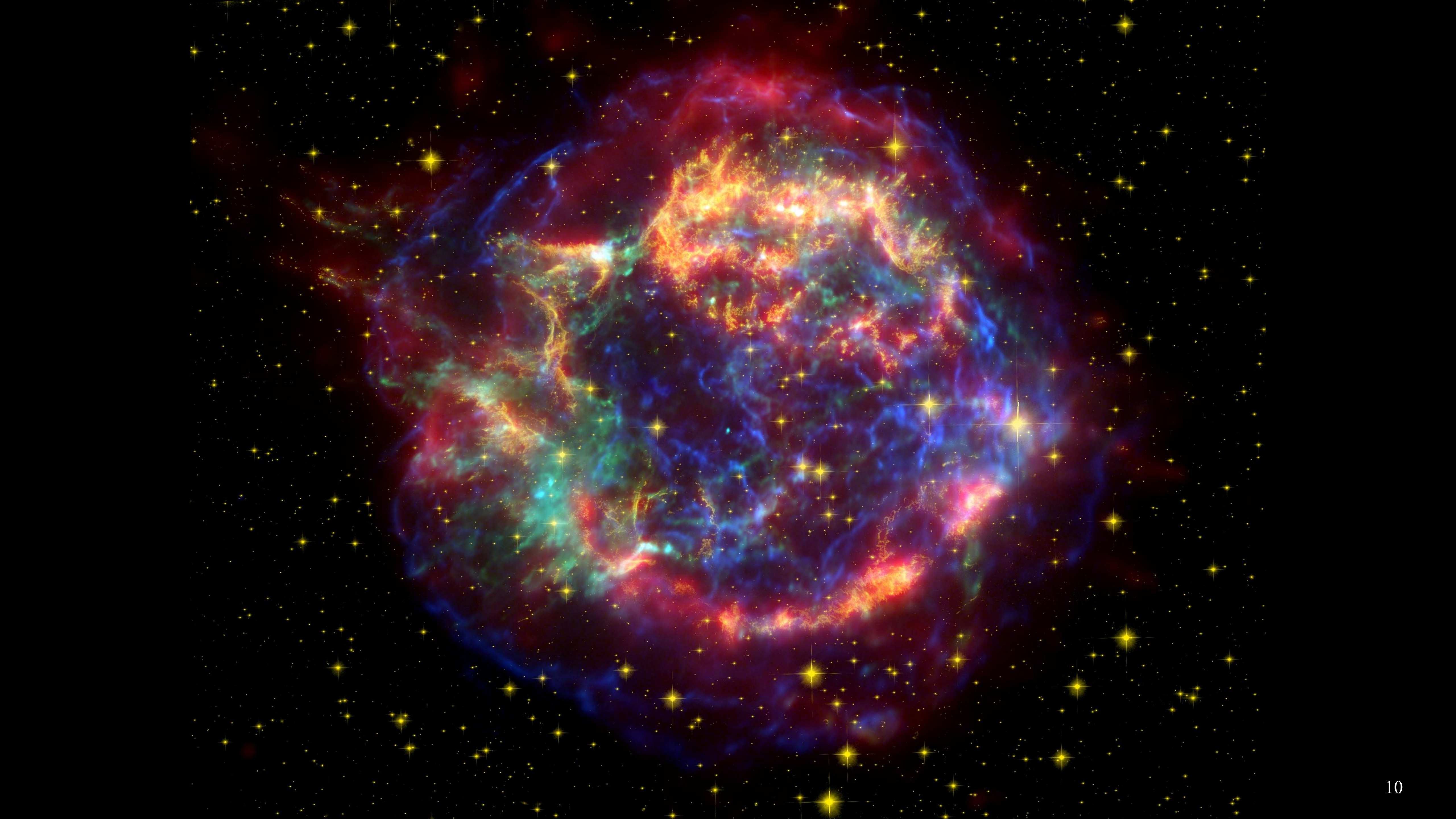
Visible





astro @ DRC - agosto 2021



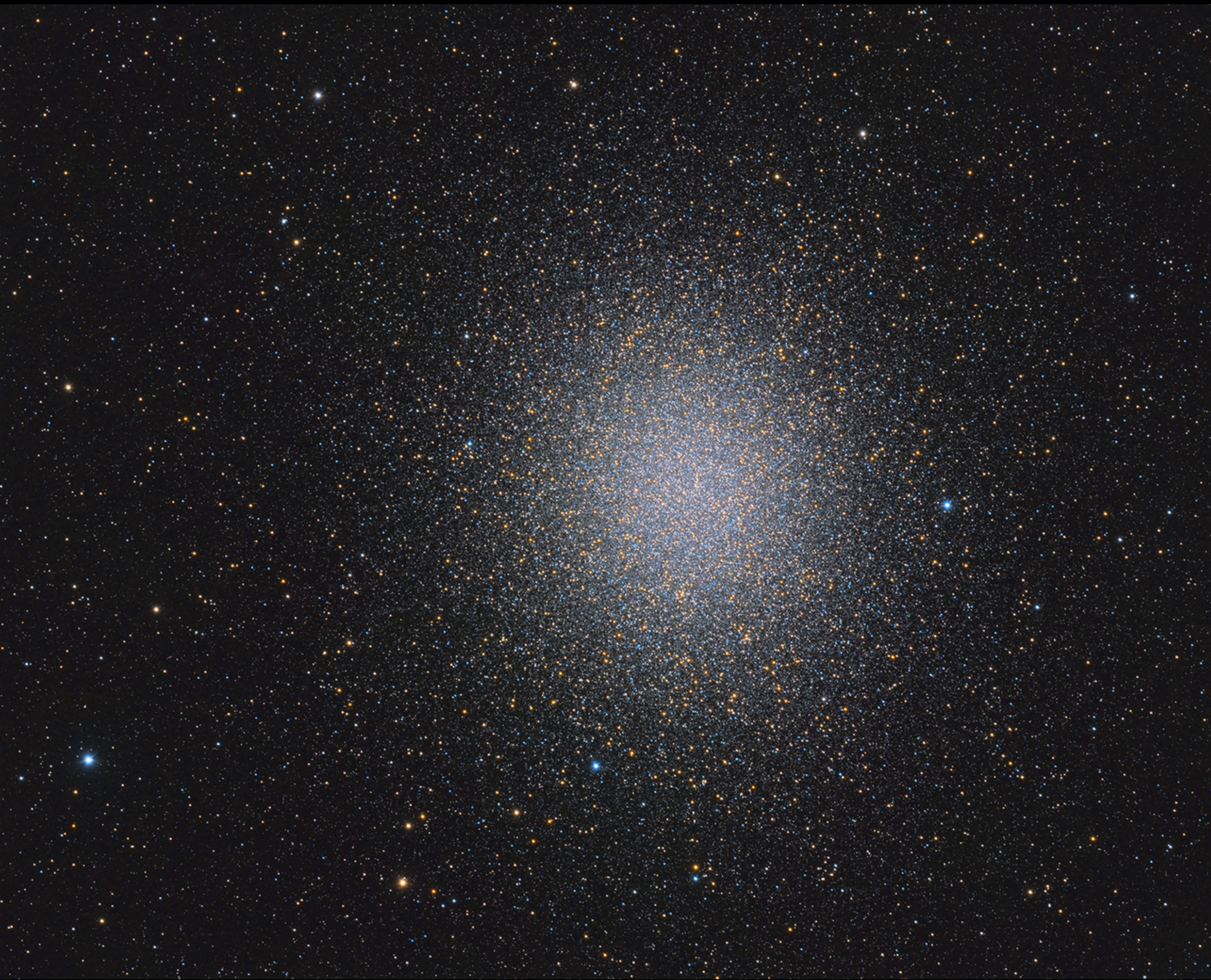








Cúmulo globular $\sim 10^5$ estrellas



ω Centauri $\sim 10^6$ estrellas

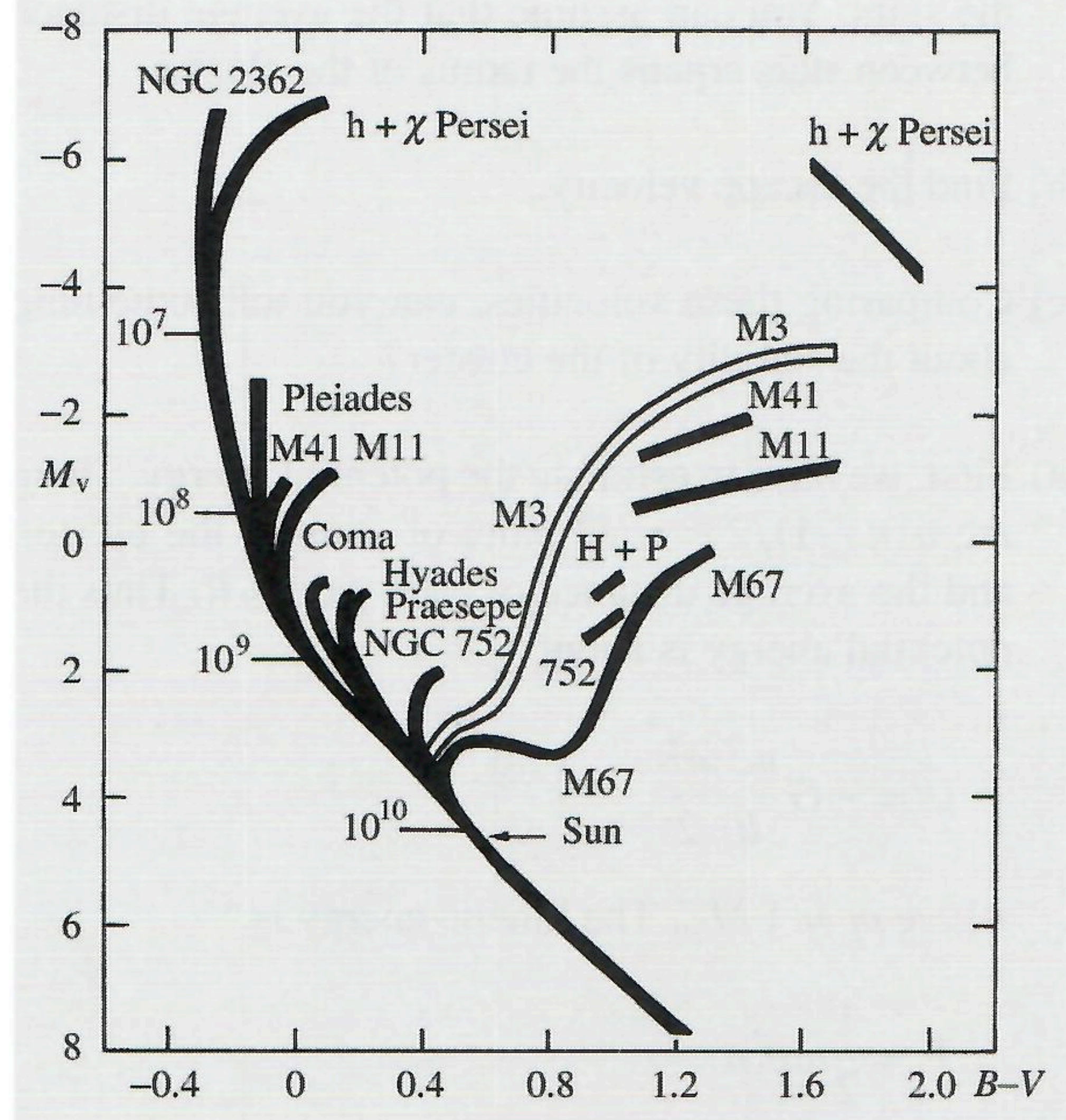


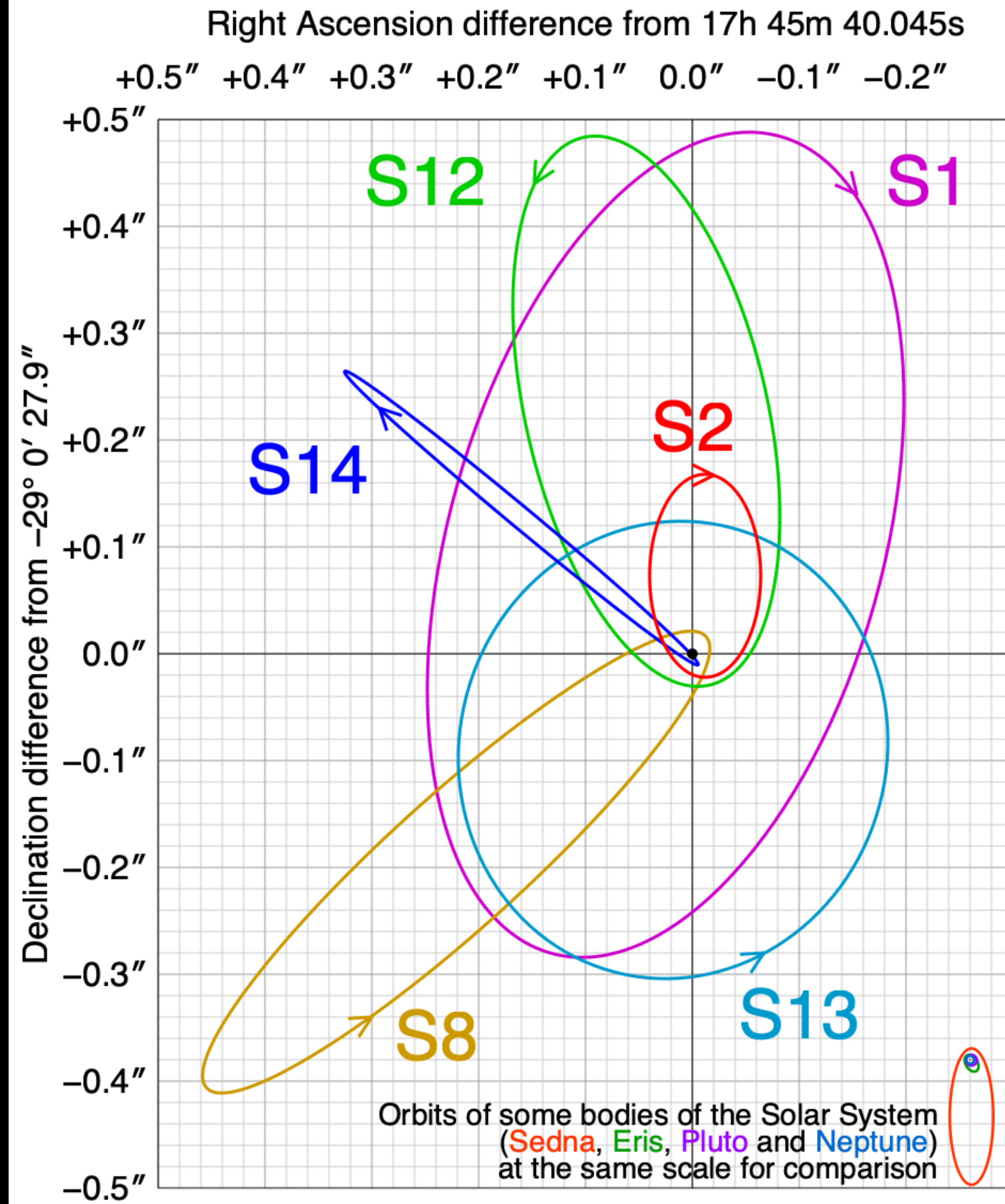
Fig. 16.6. Schematic colour-magnitude diagrams of star clusters. M3 is a globular cluster; the others are open clusters. Cluster ages are shown along the main sequence. The age of a cluster can be told from the point where its stars begin to turn off the main sequence. (Sandage, A. (1956): Publ. Astron. Soc. Pac. **68**, 498)

Centro Galáctico

1992

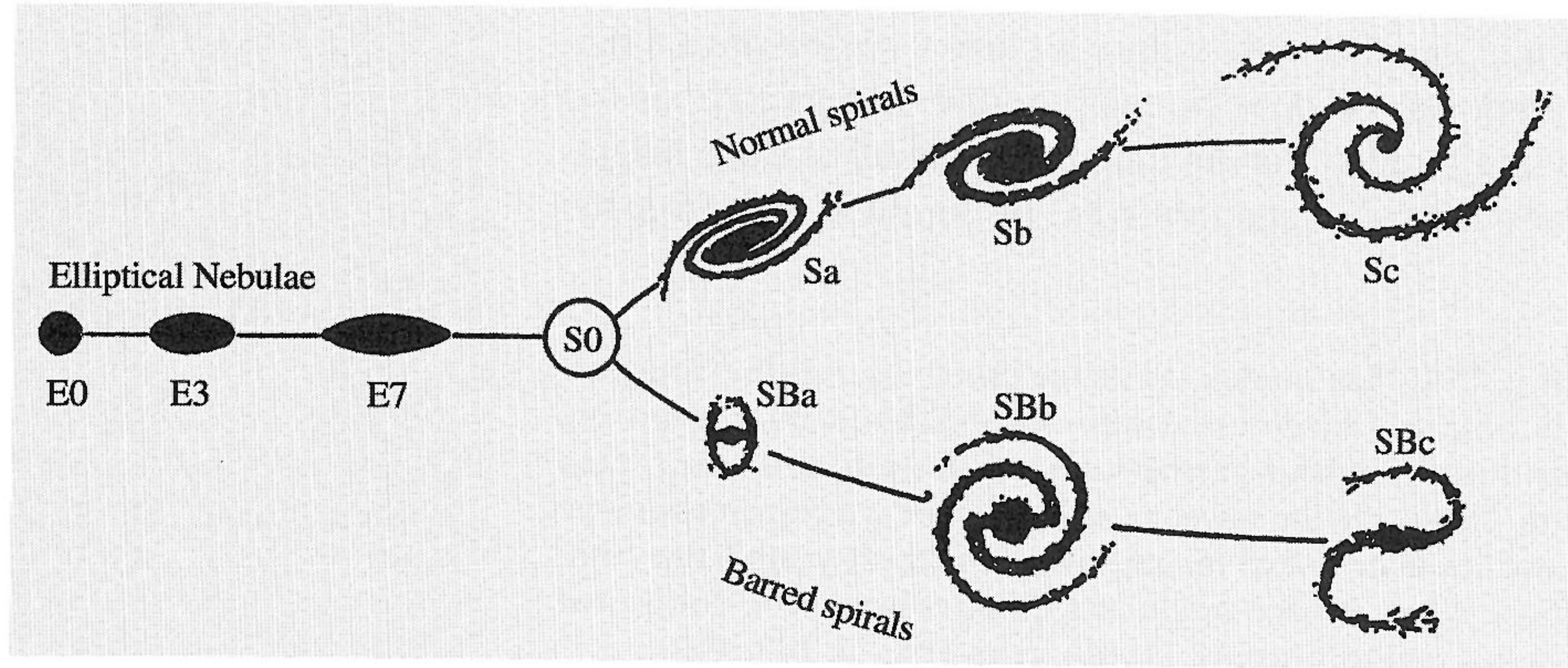
10 light days

$$M_c \approx 4 \times 10^6 M_\odot$$



2. Galaxias

Fig. 18.2. The Hubble sequence in Hubble's 1936 version. At this stage the existence of type S0 was still doubtful. Photographs of the Hubble types are shown in Figs. 18.6 and 18.15 (E); 18.3 and 18.4 (S0 and S); 18.12 (S and Irr II); 18.5 (Irr I and dE). (Hubble, E.P. (1936): *The Realm of the Nebulae* (Yale University Press, New Haven))



La secuencia de Hubble

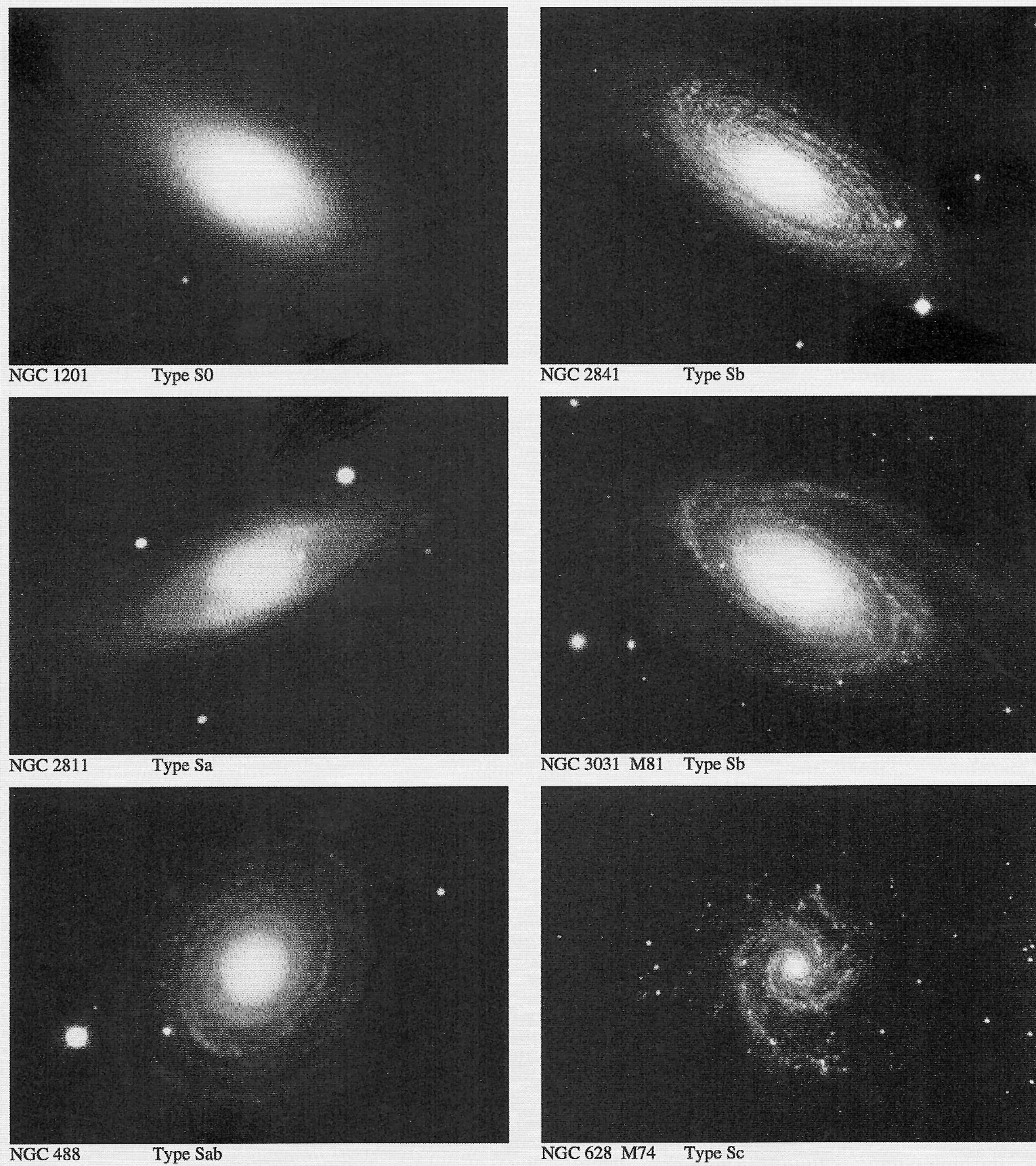


Fig. 18.3. The classification of normal spiral and S0 galaxies. (Mt. Wilson Observatory)

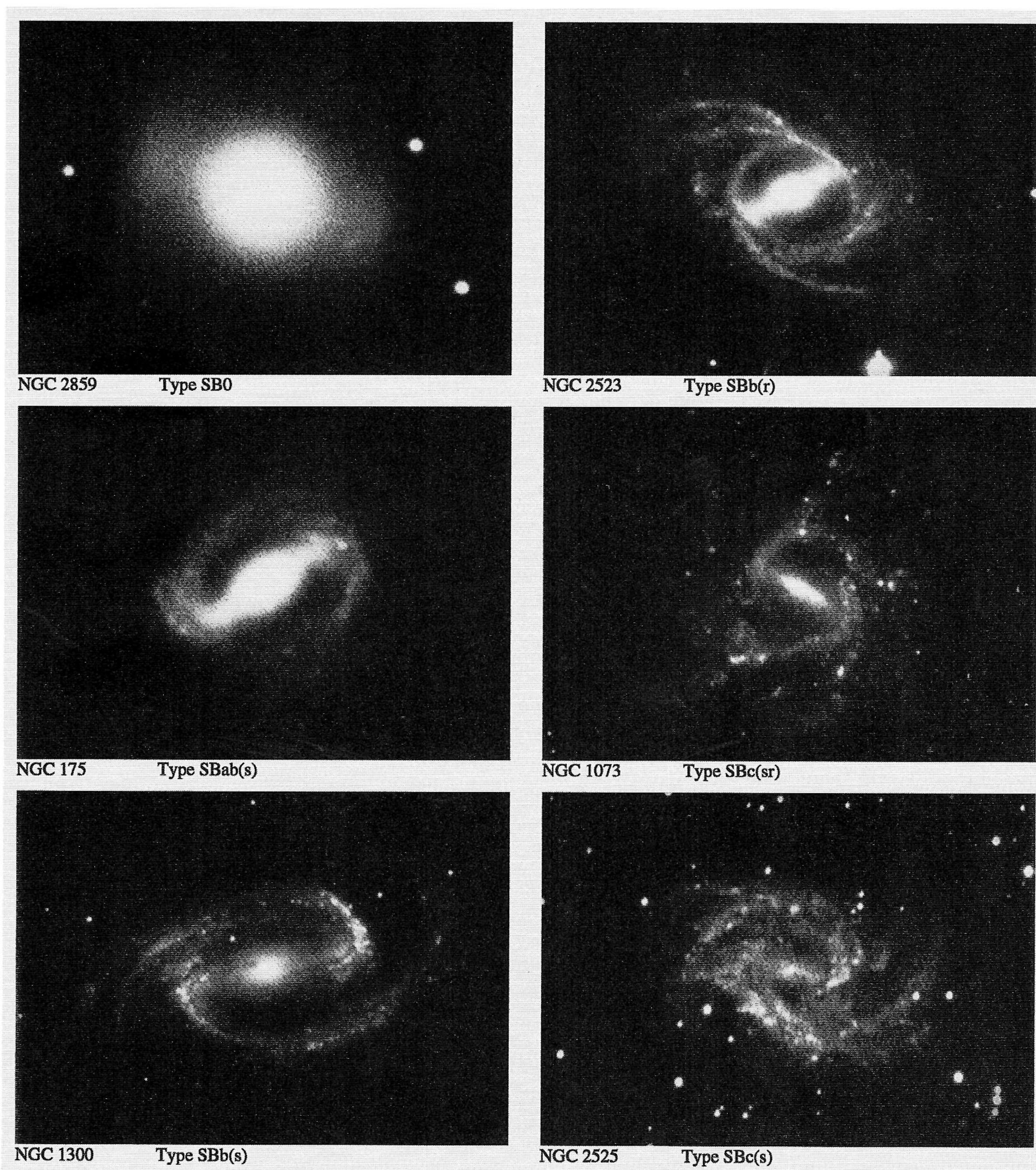


Fig. 18.4. Different types of SB0 and SB galaxies. The type (r) or (s) depends on whether the galaxy has a central ring or not. (Mt. Wilson Observatory)



M60 - HST - apod 28 ene 2016



M32 - Fabrizio Francione - <https://epod.usra.edu/blog/2012/12/dwarf-galaxy-m32.html>

By ESO/SPECULOOS Team/E. Jehin - <https://www.eso.org/public/images/potw1930a/>, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80878469>

Nube Menor de Magallanes



Galaxia enana (Sculptor)



3. Galaxias activas

3.1. Descubrimiento.

3.2. Cuasares y galaxias activas.

3.3. El modelo estándar.

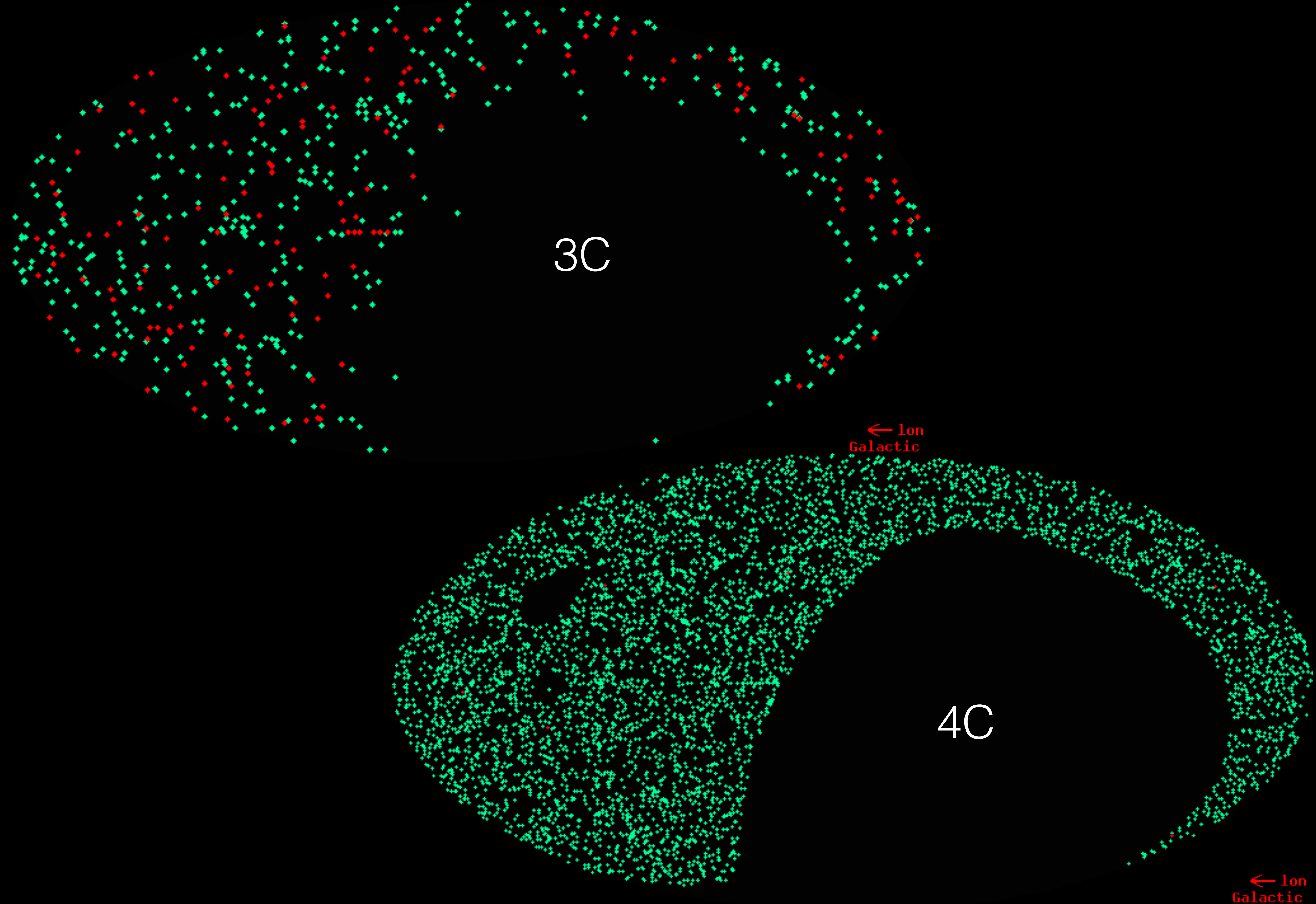
3.3. Acreción en hoyos negros supermasivos.

NGC 1068 (M 77) apod.nasa.gov
Seyfert (1943)



Cambridge MRAO - 4C array

By Cmglee - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33433735>

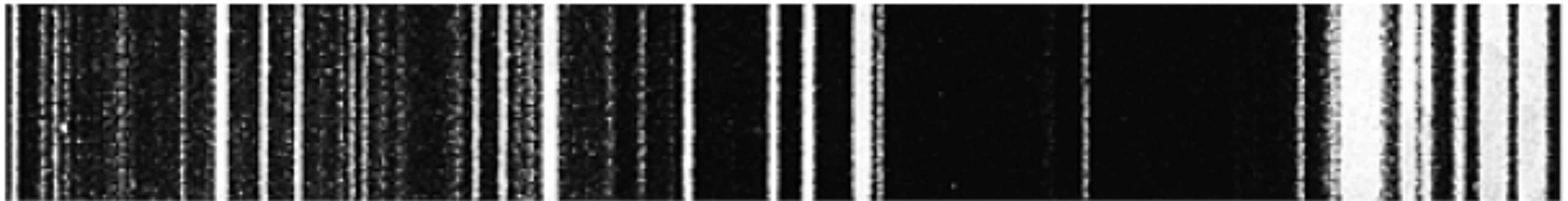


3C 273

H δ H γ H β



comparison spectrum



388.9 nm

H δ

H γ

H β

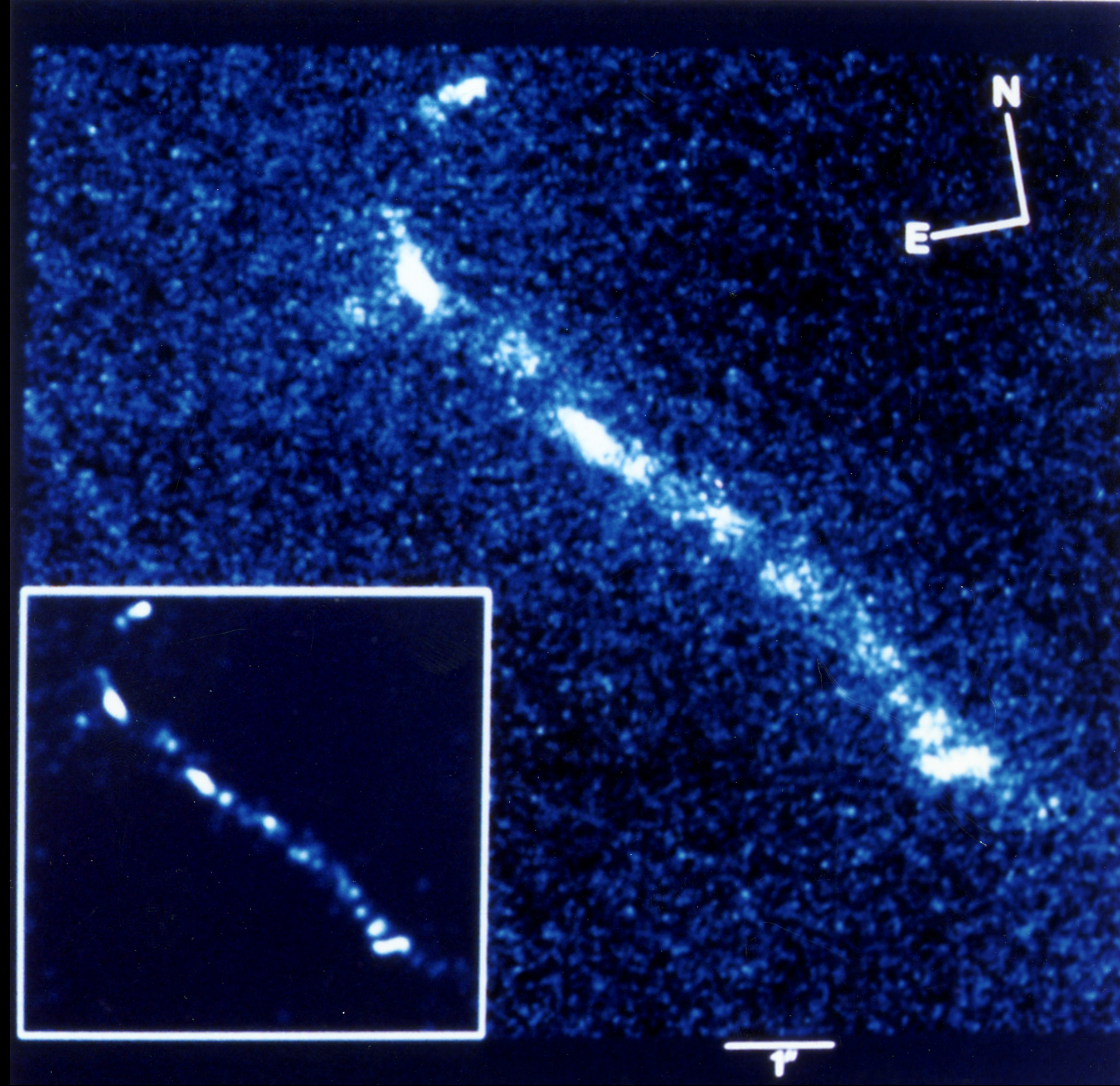
501.6 nm

603.0 nm

© Addison-Wesley Longman

$z = 0.158$ (Schmidt & Oke 1963)





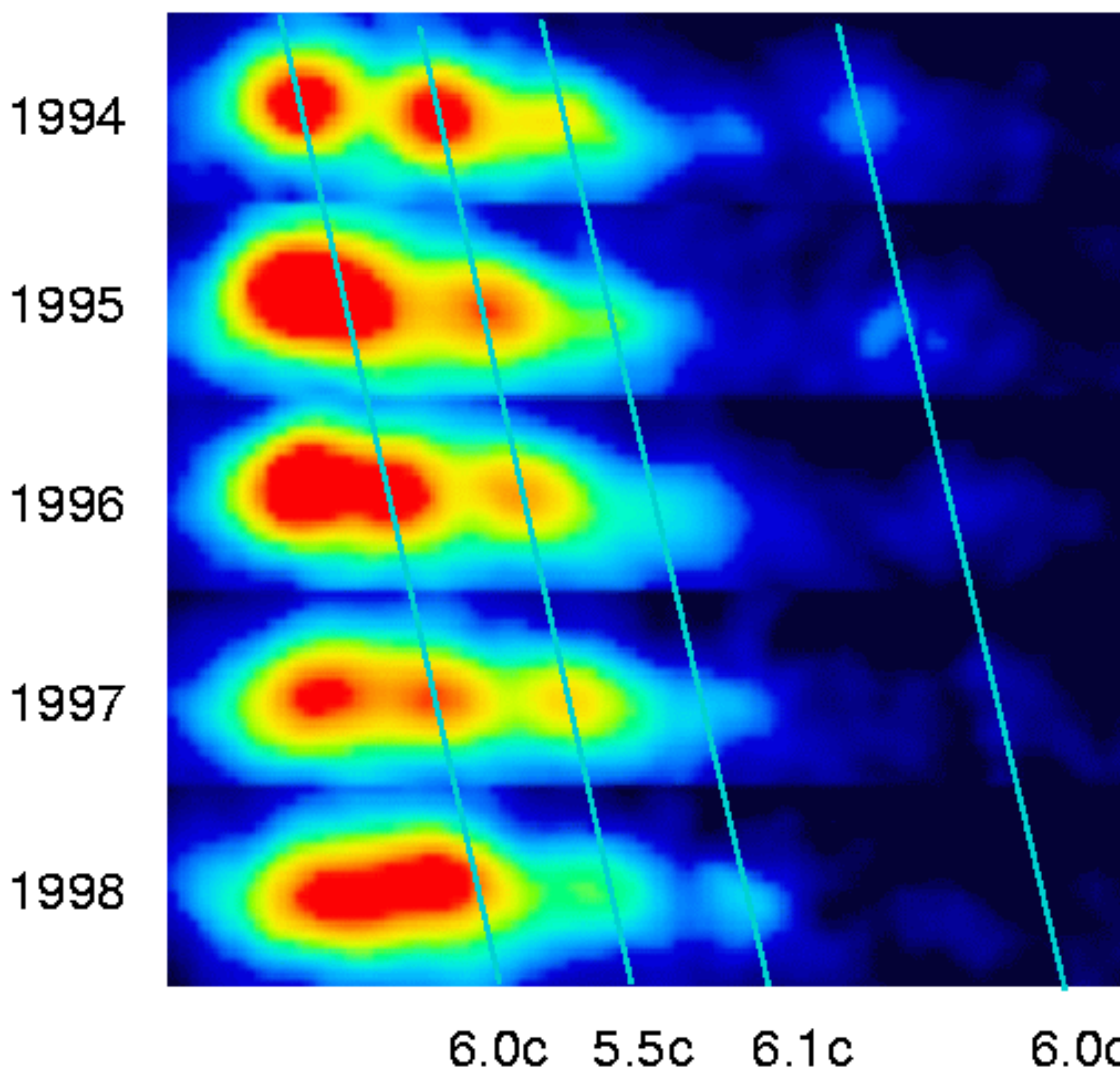
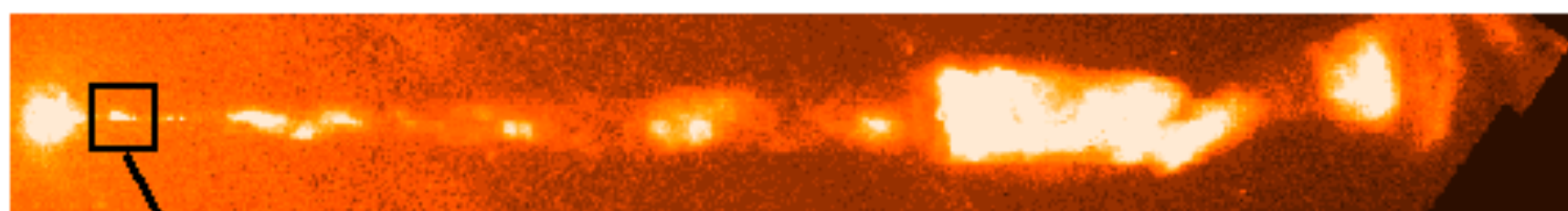
HST snaps optical jet of quasar 3c 273

R.C. Thomson, IoA, Cambridge, UK;C.D. Mackay, IoA, Cambridge, UK;A.E. Wright, ATNF, Parkes, Australia

M87 por HST



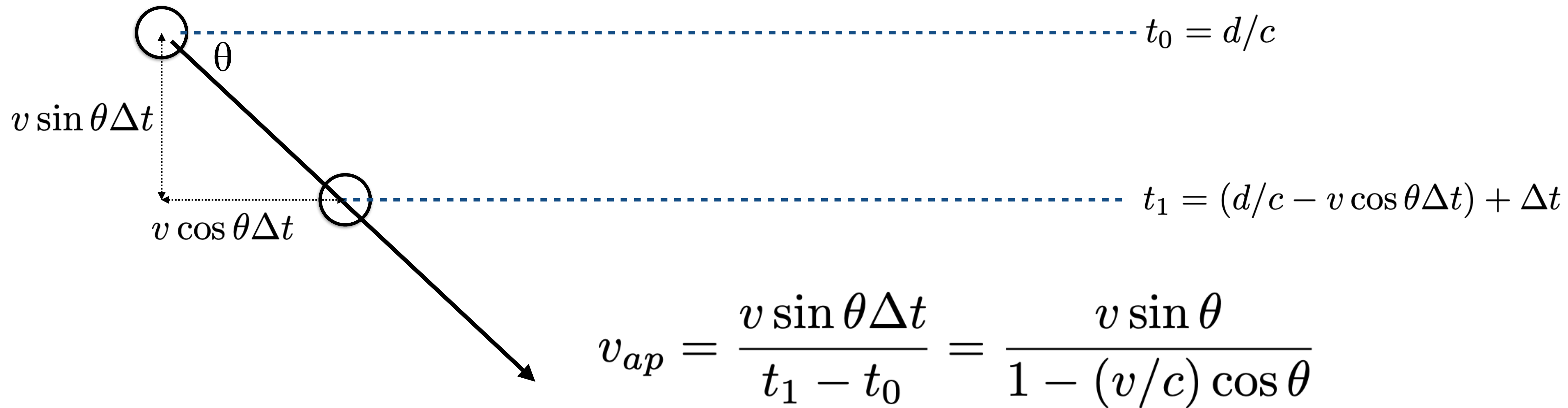
Superluminal Motion in the M87 Jet

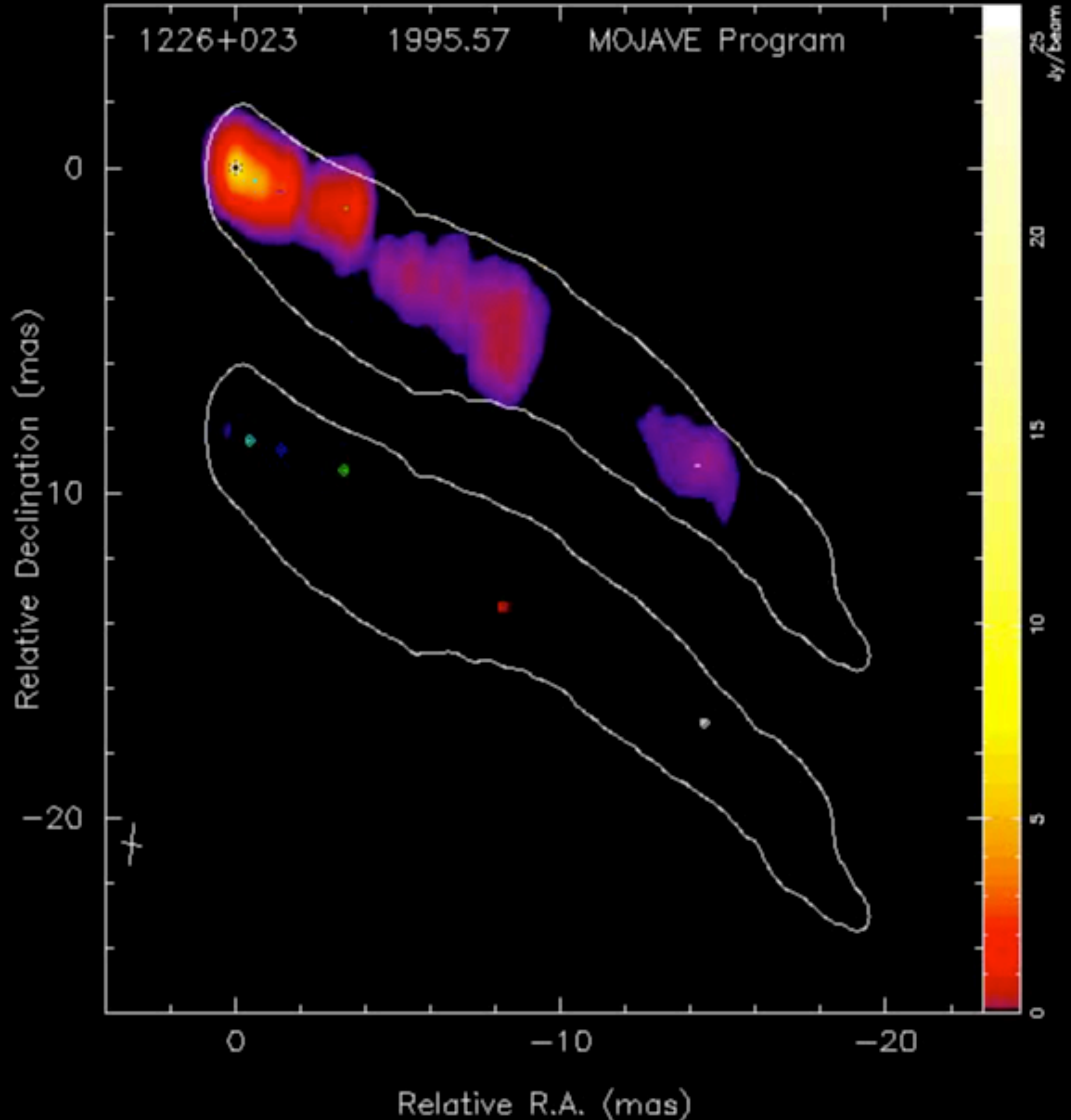


Movimiento superlumínico

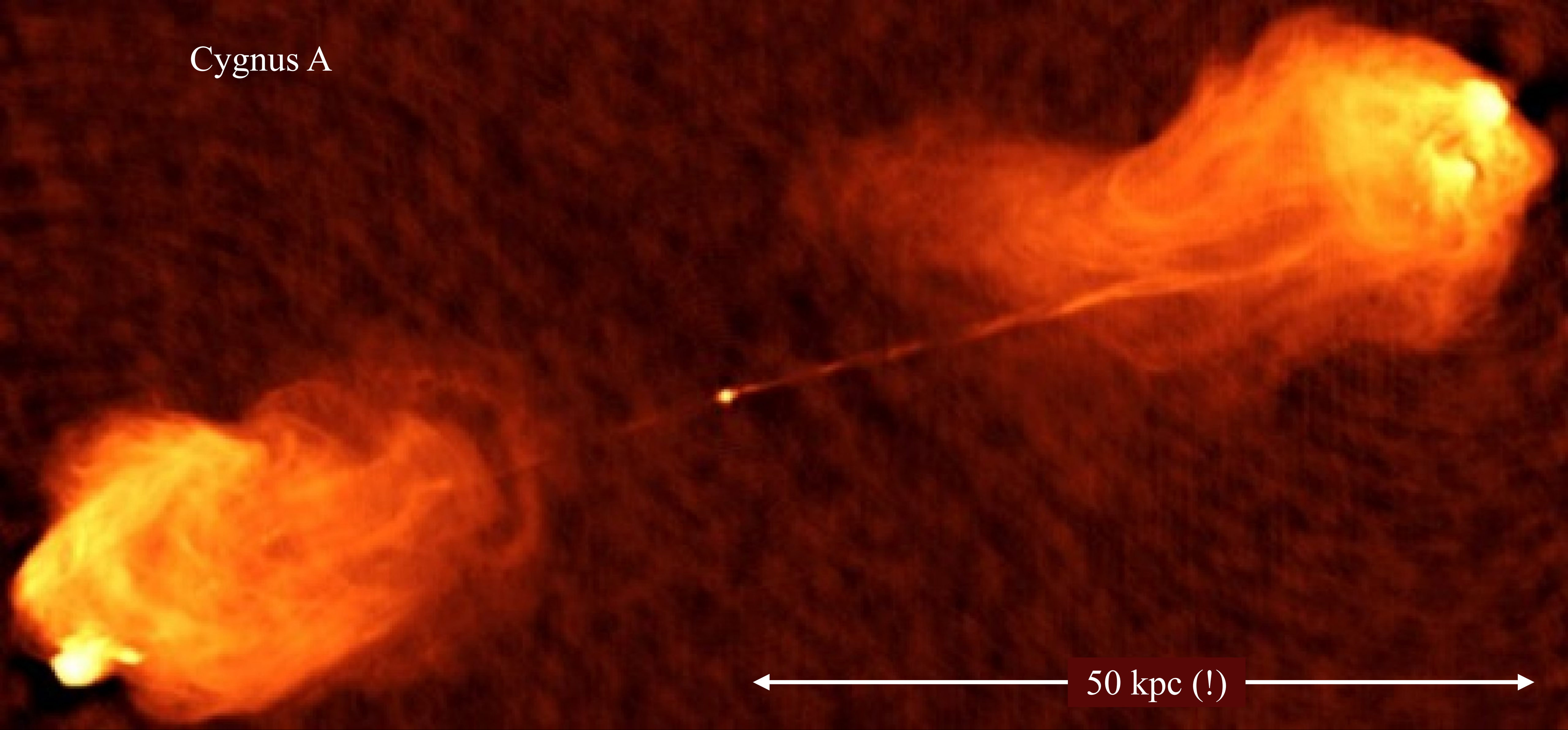
Efecto puramente geométrico. Máximo para

$$\cos \theta = v/c \Rightarrow v_{ap} = \gamma v/c.$$





Cygnus A



← 50 kpc (!) →

3.2. Cuasares y galaxias activas

- **Cuasares:** descubiertos como objetos aparentemente estelares por su intensa emisión en radio
- **QSOs (Quasi-Stellar Objects):** objetos extragalácticos con propiedades similares a los cuasares, sin tener necesariamente emisión en radio.
- **Galaxias Seyfert:** Seyfert (1943) identifica una serie de galaxias con núcleo particularmente brillante y exceso de emisión azul (Haro 1956, Markarian 1967)
- **Radio galaxias:** intensa emisión de radio; mayormente elípticas.
- **Objetos BL Lac:** fuentes de radio quasi-estelares, sin líneas en el óptico; asociados a núcleos de galaxias elípticas. Emisión de rayos X.

Primeras interpretaciones

Emisión radio por electrones relativistas en campos magnéticos (Shlovsky 1952)

- Colisión de nubes de gas durante colisiones entre galaxias?
- Supernovas en cadena (Burbidge 1970s)?
- Formación estelar en cadena (starburst model - Terlevich & Melnick 1985)?
- Aniquilación de materia y antimateria?
- Evolución explosiva de objeto “estelar” supermasivo (Hoyle & Fowler 1962)?
- Acreción en objetos supermasivos (Hoyle & Fowler 1963; Salpeter 1964).

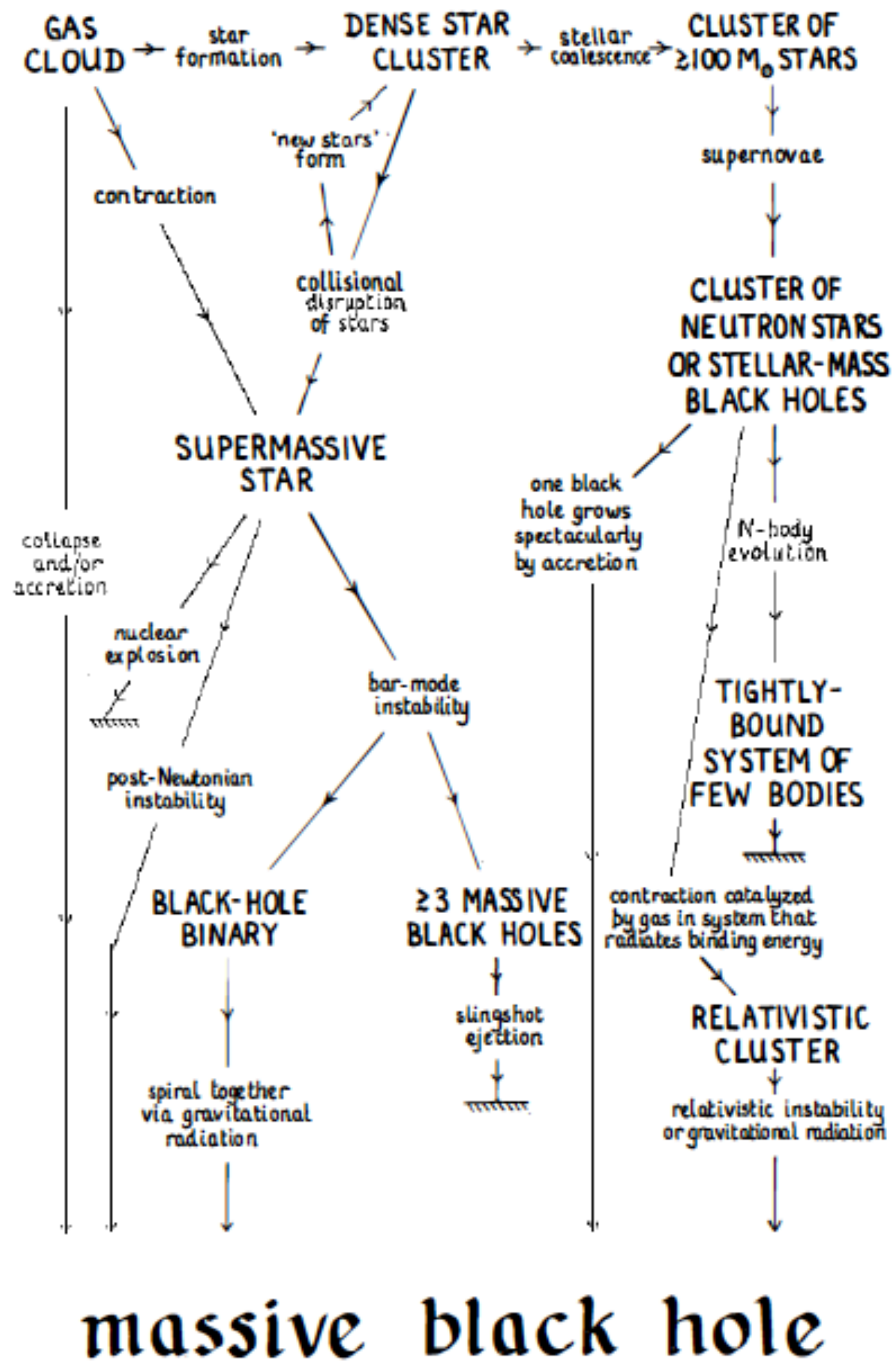


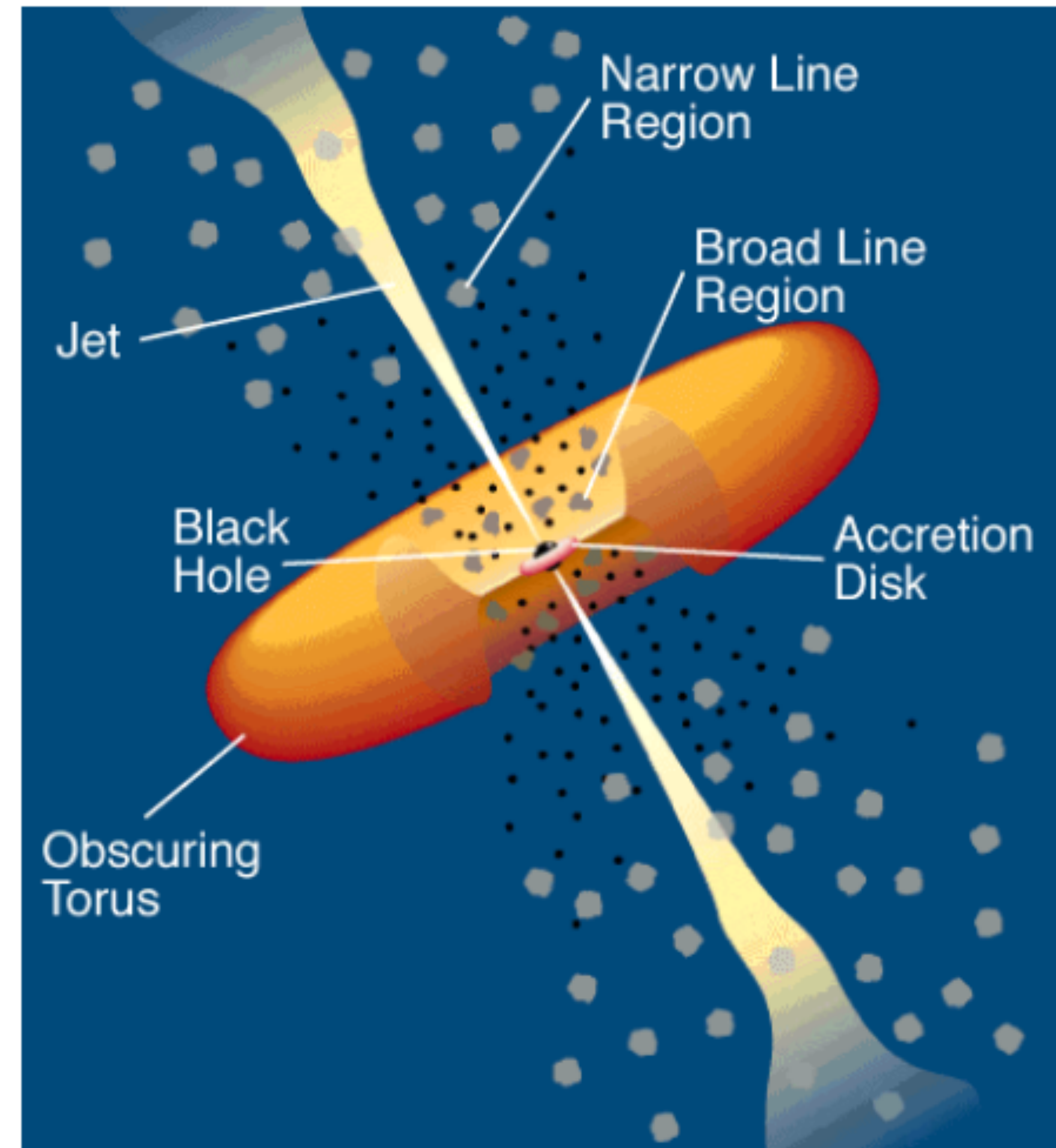
Figure 1 Schematic diagram [reproduced from Rees (106)] showing possible routes for runaway evolution in active galactic nuclei.

3.3. Hoyos negros Supermasivos

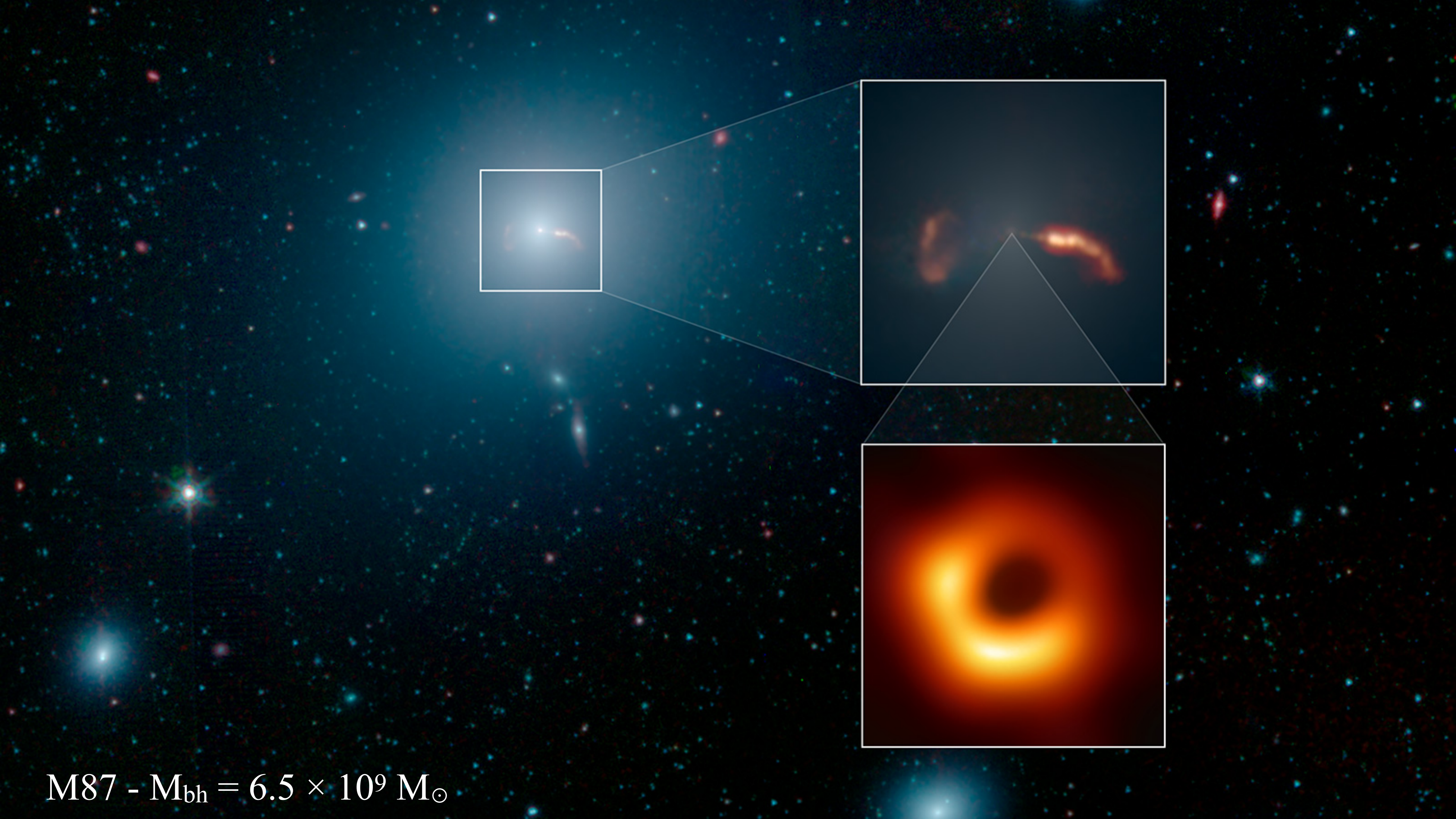
- Generación de energía ✓
- Variabilidad ✓
- Jets ✓
- Emisión de radio, rayos X, rayos γ ✓
- Formación de un SMBH?

3.3. El modelo estándar

- Acreción de materia en hoyo negro, a través de un disco.
- Toroide externo de gas molecular.
- Aceleración de partículas en jets relativistas (movimientos superlumínicos aparentes).



Urry & Padovani (1995)



M87 - $M_{\text{bh}} = 6.5 \times 10^9 M_{\odot}$

Classes of AGN and Unification

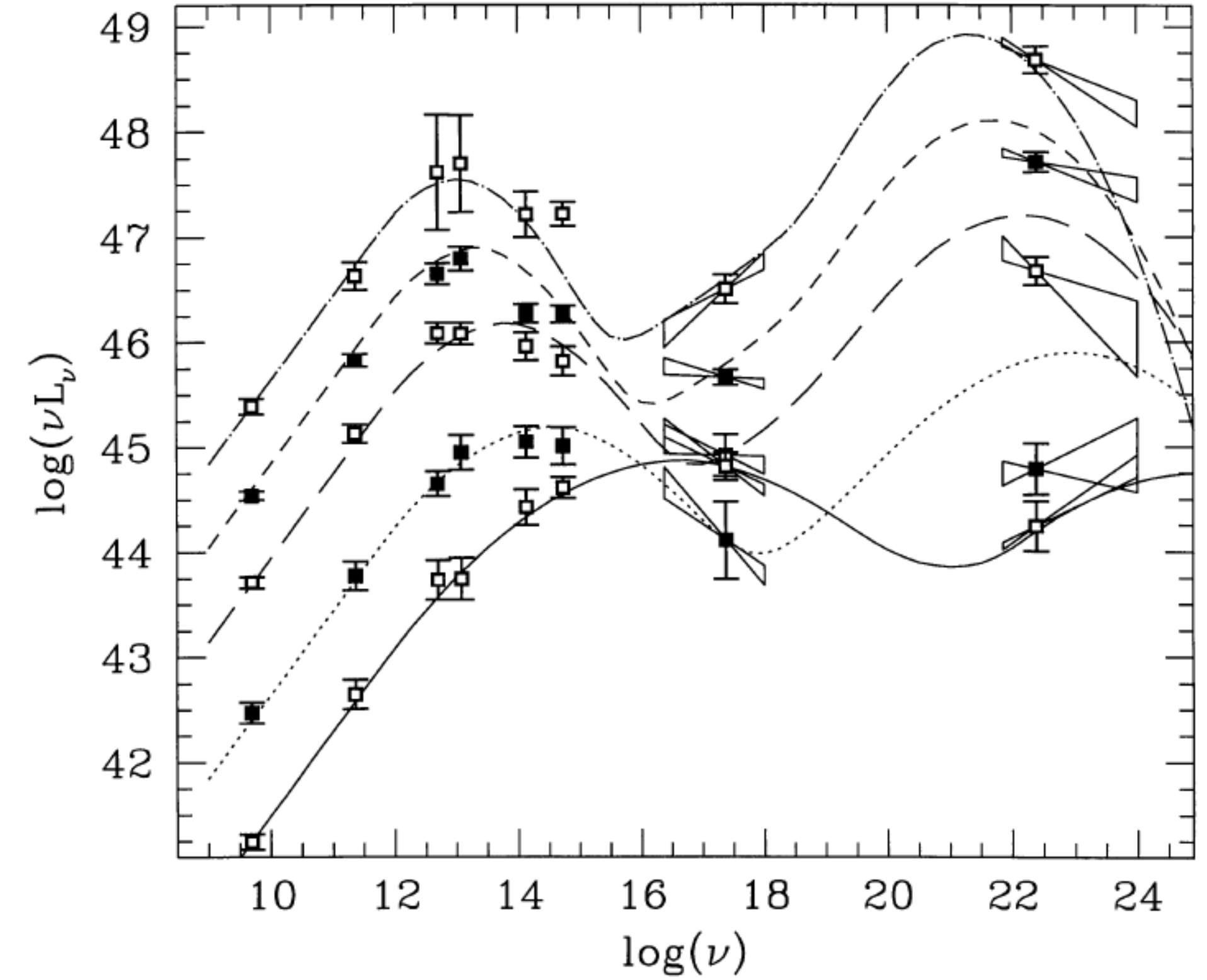
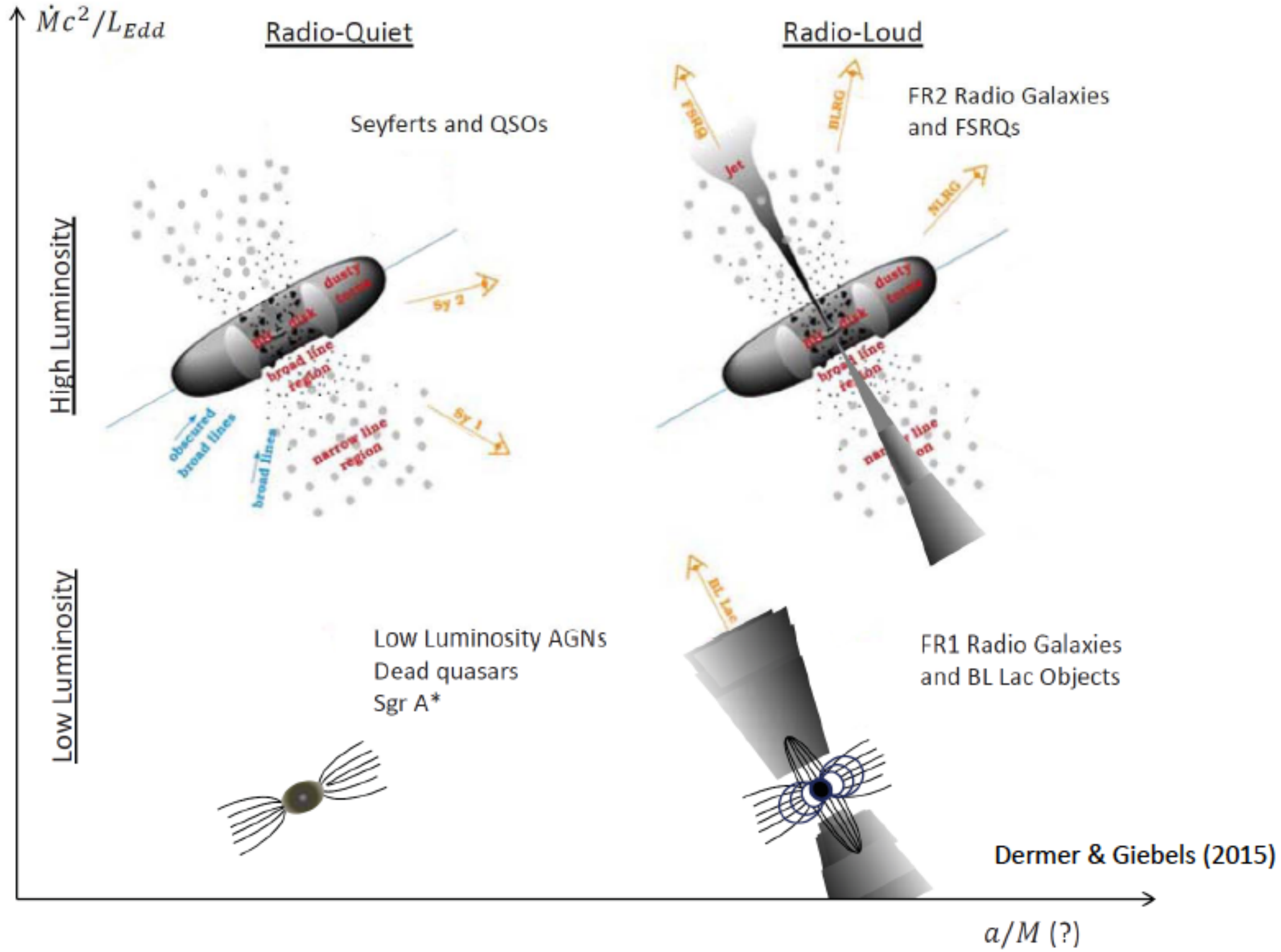
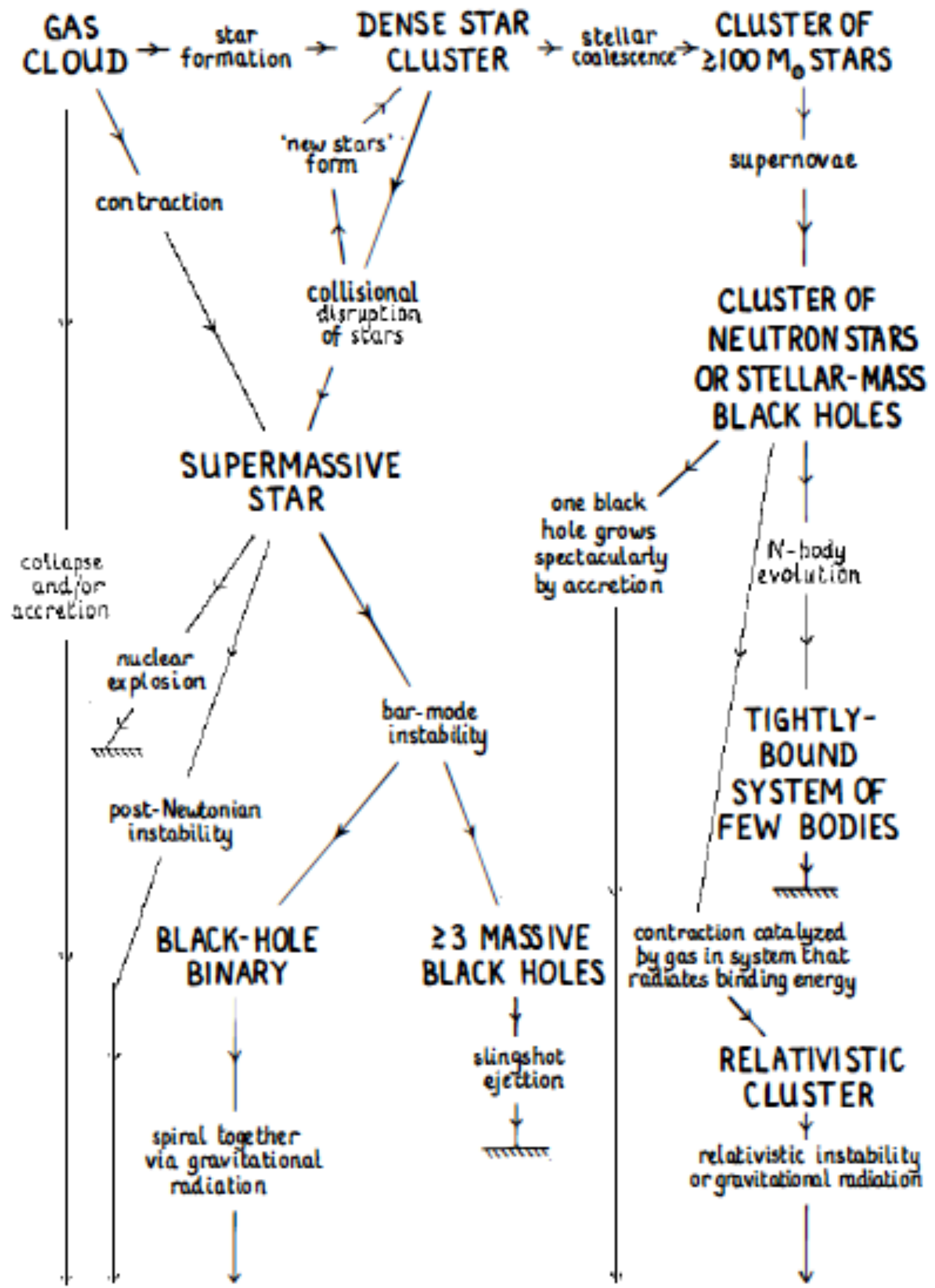


Figure 12. Average SEDs for the ‘total blazar sample’ binned according to radio luminosity irrespective of the original classification. The overlaid curves are analytic approximations obtained according to the one-parameter-family definition described in the text.

Fossati et al. (1998)



massive black hole

Figure 1 Schematic diagram [reproduced from Rees (106)] showing possible routes for runaway evolution in active galactic nuclei.

Usted está viendo la pantalla de Christina Eilers Ver Opciones

Alberto Carrami... Christina Eilers Susanne Aalto Peter Eisenhardt Paul Shapiro Huangyu Xiao

exponential growth of black holes

quasar lifetime mass of initial black hole seed

$$M_{BH}(t_Q) = M_{seed} \cdot \exp\left(\frac{t_Q}{t_S}\right)$$

Salpeter "e-folding" time: bolometric luminosity

$$t_S = 4.5 \times 10^7 \left(\frac{\epsilon}{0.1}\right) \left(\frac{L}{L_{Edd}}\right) \text{ yr}$$

radiative efficiency of the accretion

Recording

Re-Iniciar Audio Iniciar Video Participantes 171 Chatear Compartir pantalla Grabar Reacciones Salir

3.4. Acreción en SMBHs (1)

- Permite altas luminosidades y escalas cortas de tiempo,

$$L \lesssim \frac{GM\dot{M}}{R}, \quad \Delta t \gtrsim R/c.$$

- En un disco de acreción alrededor de un hoyo negro estático,

$$R = R_s = 2GM/c^2 \quad \Rightarrow \quad L = \frac{GM\dot{M}}{R} = \frac{1}{2}\dot{M}c^2.$$

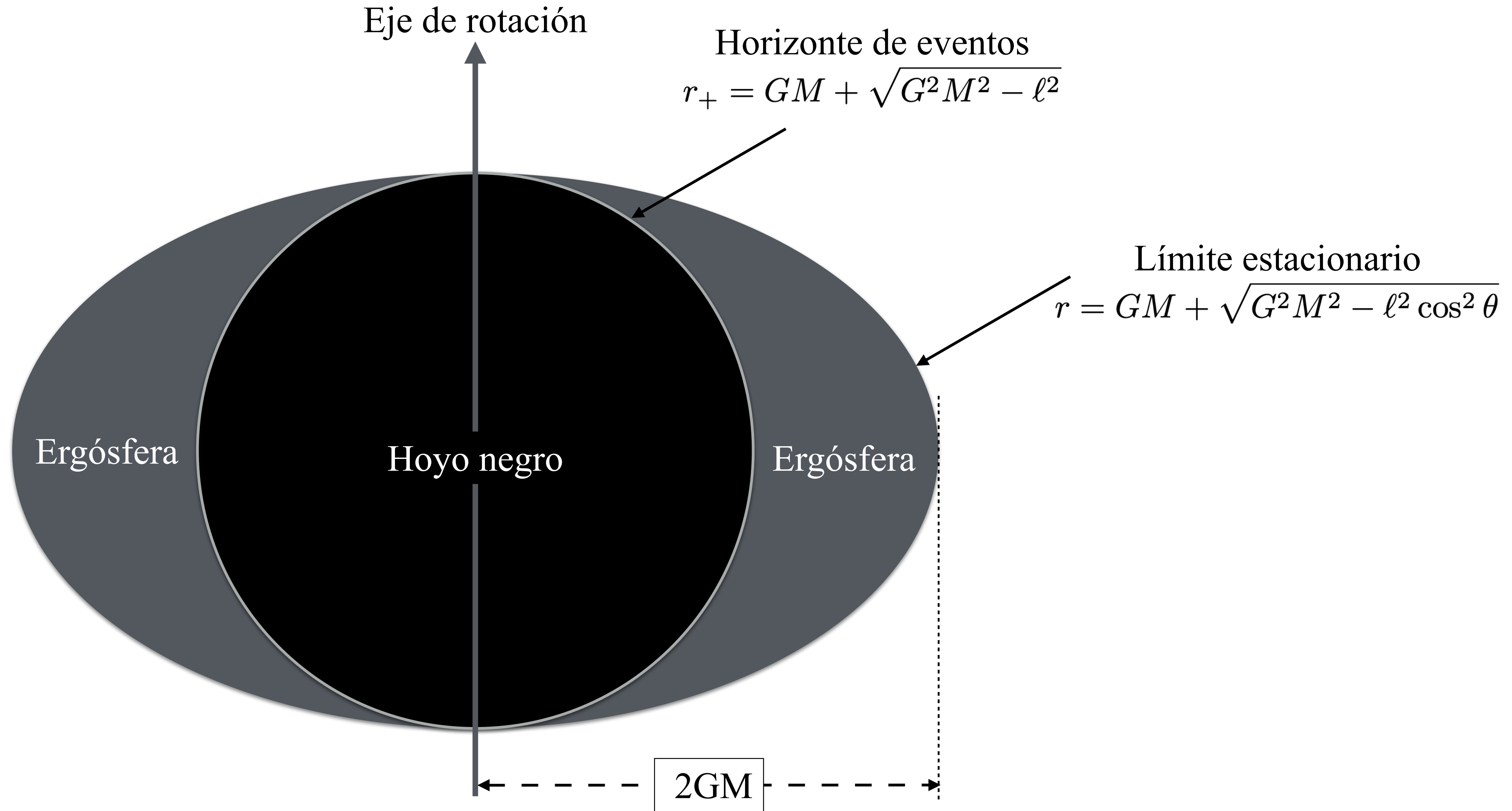
La eficiencia ($\eta \leq 1/2$) está acotada a qué tan cerca se puede extraer energía gravitacional con un disco de acreción.

- Para la última órbita estable en un hoyo negro de Schwarzschild,

$$R = 3R_s \quad \Rightarrow \quad \eta = 1/6.$$

3.4. Acreción en SMBHs (2)

- El proceso es distinto en un hoyo negro en rotación (métrica de Kerr):
 - el horizonte de eventos (exterior...) es más cercano a la singularidad,
 - la ergósfera es una región conectada con el exterior donde **todo** corota con el hoyo negro (“frame-dragging”).
- La última órbita estable en corotación con el hoyo negro tiene a $3GM$ para $\ell \rightarrow 1 \Rightarrow$ la fracción de energía extraíble tiende a $\eta \rightarrow 1 - 1/\sqrt{3} \simeq 0.42$.
- La extracción de energía rotacional del hoyo negro en la ergósfera es la base de los mecanismos de Penrose (1971) y Blandford-Znajek (1977).
 - el jet relativista puede ser producido por líneas de campo arrastradas por el disco de acreción o por “frame-dragging” dentro de la ergósfera.



3.4. Acreción en SMBHs (3)

- Escala de tiempo: para un hoyo negro supermasivo se tiene,

$$R_s/c = 10^4 \text{s} (M/10^9 M_\odot).$$

- Un límite teórico a la luminosidad es la expresión de Eddington,

$$\frac{GMm_p}{r^2} = \frac{L\sigma_T}{4\pi r^2 c} \Rightarrow L_{ed} = \frac{4\pi GMm_p c}{\sigma_T} = 1.26 \times 10^{47} \text{erg/s } M_9.$$

- La tasa de acreción correspondiente ($\eta=1/2$),

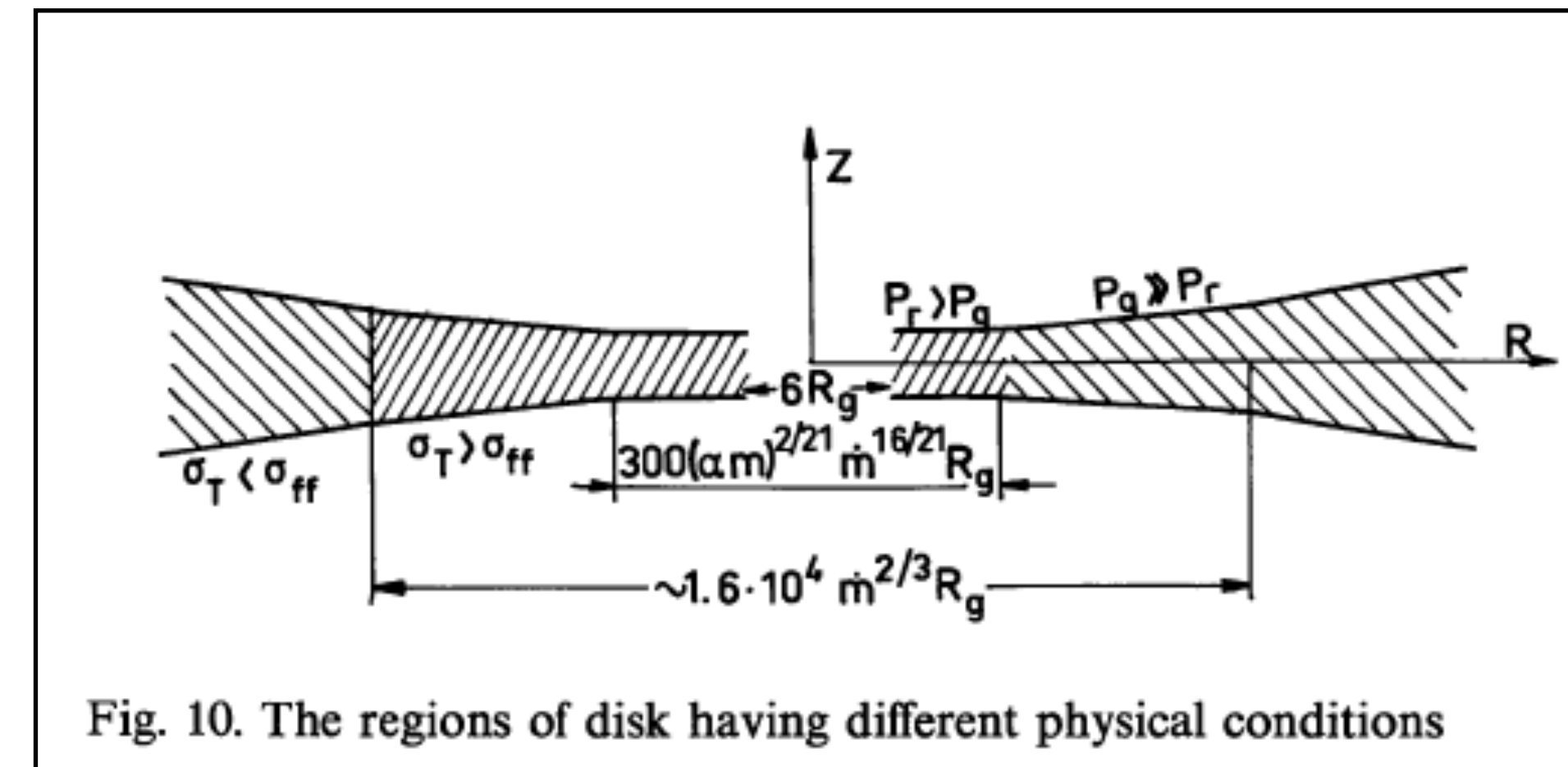
$$\dot{M}_c = 4.4 M_\odot/\text{yr } M_9,$$

y el tiempo característico, independiente de las condiciones,

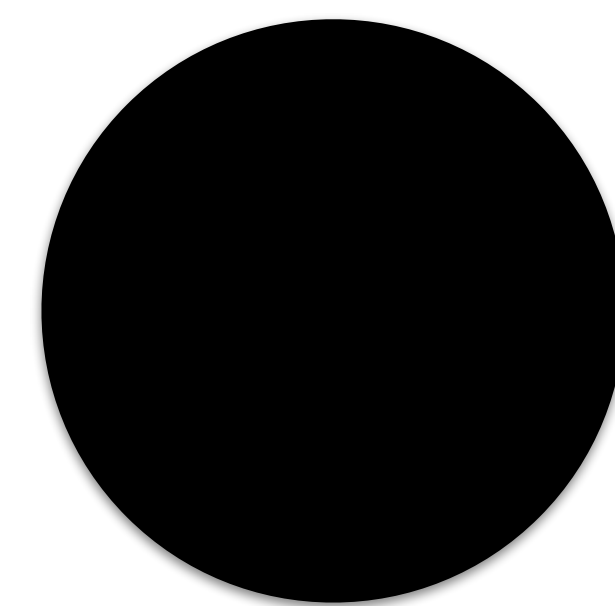
$$t_{ed} = Mc^2/L_{ed} = \frac{\sigma_T c}{4\pi GM_p} \simeq 4 \times 10^8 \text{yr}.$$

Discos de acreción

- Los modelos de discos alrededor de sistema estelares se basan en discos delgados con rotación Kepleriana y ópticamente gruesos.
- Se requiere un mecanismo disipativo para que la materia sea acretada. La posibilidad de campos magnéticos externos es un factor favorable.
- Las partes más internas, más calientes, son dominadas por presión de radiación y dispersión de Thomson, que tienden a romper la condición de disco delgado.



Shakura & Sunyaev (1973)

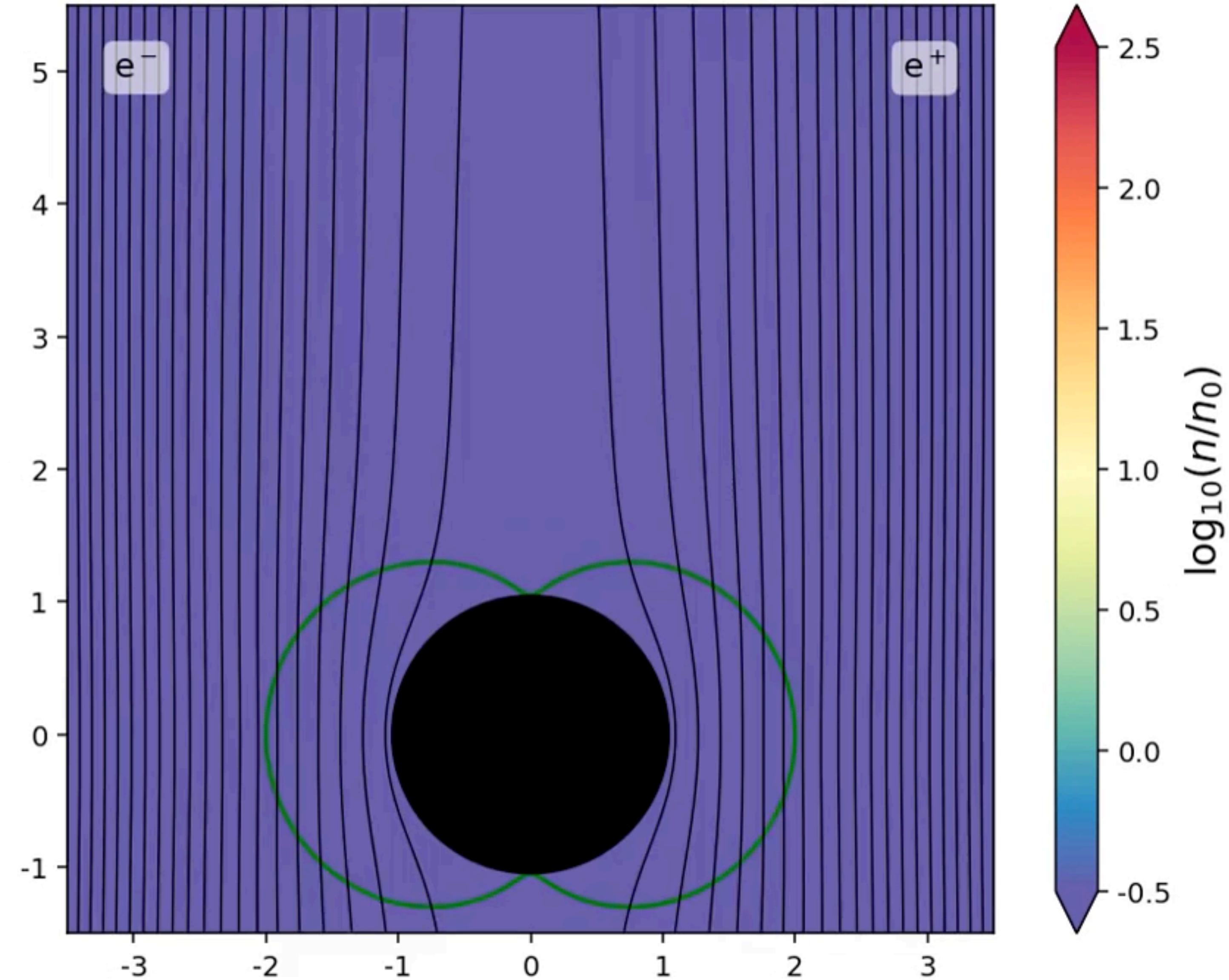


$$v_{\phi}(R) = \left(\frac{GM}{r} \right)^{1/2}, \quad H \ll R, \quad T(R) = \left(\frac{3GM\dot{M}}{8\pi\sigma R_*^3} \right)^{1/4} \left(\frac{R}{R_*} \right)^{-3/4}, \quad L_{disc} = \frac{GM\dot{M}}{2R_{min}}$$

Blandford - Znajek

- El mecanismo de Blandford - Znajek (1977) parte de un hoyo negro en rotación (métrica de Kerr).
- Dentro de la ergósfera el espacio-tiempo es arrastrado por el hoyo negro.
- Líneas de un campo magnético externo se enredan y permiten a la materia salir en dirección axial, extrayendo energía y momento angular del hoyo negro.
- La rotación del campo magnético induce también un campo electrostático que puede acelerar partículas a muy altas energías, de forma análoga a la magnetósfera de un pulsar;
 - de manera análoga a una magnetósfera, la presencia de cargas tiende a cancelar el campo, pero una cancelación imperfecta permite la aceleración.

$t = 0.00 r_g/c$



1977MNRAS...179...433B

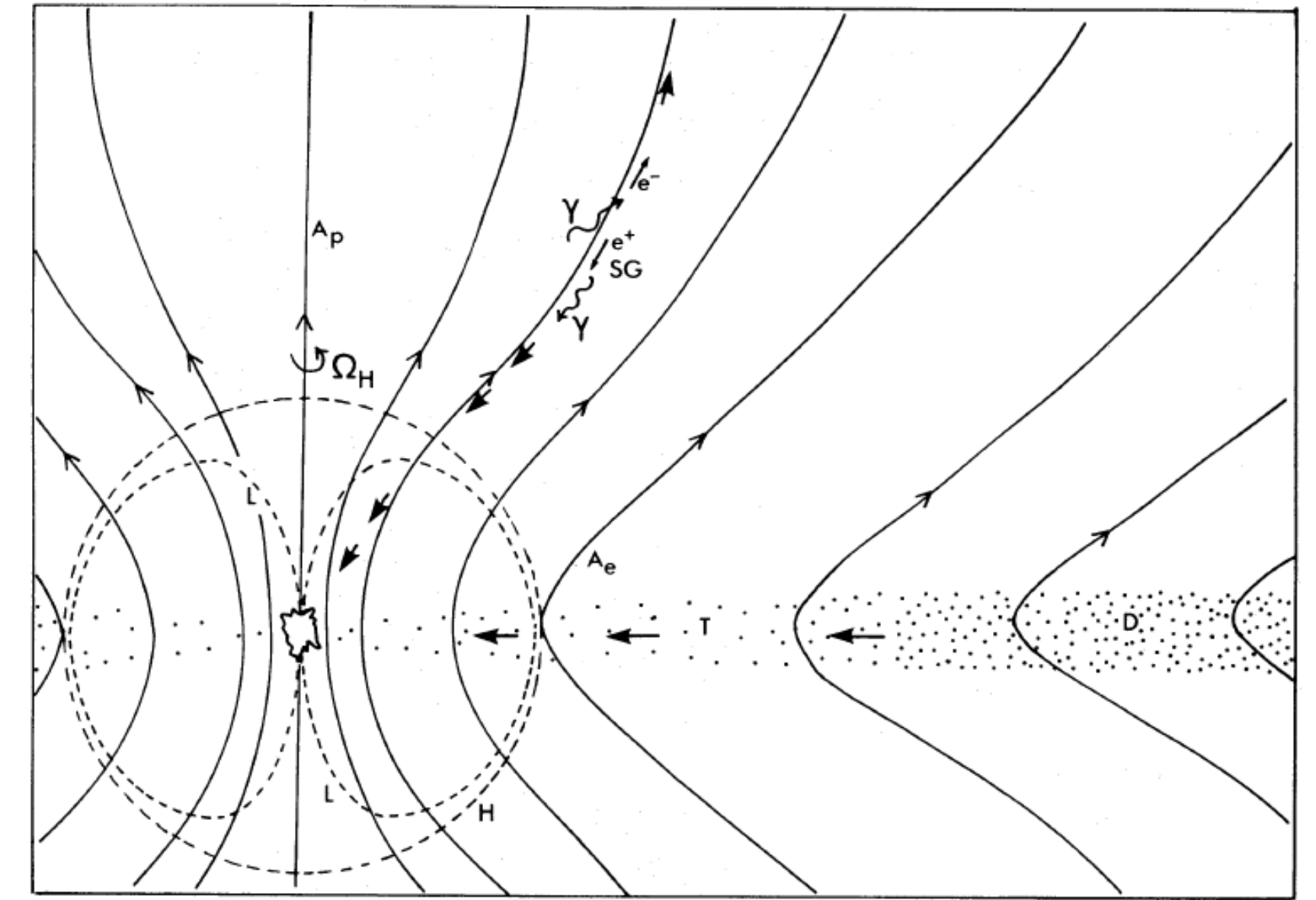


Figure 1. Schematic cross-section of black hole and magnetosphere, using r and θ coordinates in normal way. (Due to axial and time symmetry the diagram is independent of the azimuthal and time coordinates that are being held constant; these can be the Kerr coordinates ν and $\bar{\phi}$, or for $r > r_+$ the Boyer–Lindquist coordinates t and ϕ .) The poloidal field has been chosen so that $\Omega_H \cdot \mathbf{B} > 0$. H is the event horizon $r = r_+$. The poloidal field surfaces (i.e. surfaces of constant A_ϕ) are shown as solid lines, with the polar and equatorial surfaces $A_\phi = A_p$ and $A_\phi = A_e$ specifically labelled. A current I is flowing from the magnetosphere into the hole and back out of it in the direction of the magnetic field.

Blandford & Znajek (1977)

Downloaded from https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/



The end!